

Über die Abgabe von Quecksilber
aus Silberamalgamfüllungen

*Diss. Erlangen
1983*

von
Klaus Trinczek
aus
Nürnberg



Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Prof. Dr. Dr. H. B. Wuermeling

Über die Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen

INAUGURAL – DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Friedrich - Alexander - Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Klaus Trinczek

aus

Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan Prof. Dr.V. Becker
Referent: Prof. Dr.Dr.M. Geldmacher-v. Mallinckrodt
Korreferent: Prof. Dr.H.-B. Wuermeling

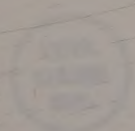
Tag der mündlichen Prüfung: 11.04.1983

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	6
1.1. Kurze Darstellung des Füllmaterials Amalgam	6
1.2. Kriterien einer erhöhten Quecksilberexposition	8
1.2.1. Blut	8
1.2.2. Urin	11
1.2.3. Bedingungen für die Beurteilung einer Quecksilberexposition anhand erhöhter Quecksilberausscheidung im Urin	14
2. Die Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen	17
2.1. Der Mechanismus der Quecksilberabgabe	18
2.1.1. Löslichkeit von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen im Speichel	21
2.1.1.1. Zeitabhängigkeit	21
2.1.1.2. Temperaturabhängigkeit	22
2.1.1.3. Die Menge des in Lösung gehenden Quecksilbers	23
2.1.1.4. Einfluß von Kau- und Trinkakt	26
2.1.2. Abgabe von Quecksilberdampf aus Silberamalgamfüllungen	28
2.1.2.1. Während der Behandlung	28
2.1.2.2. Nach der Behandlungsphase	32
2.1.2.2.1. Zeitdauer und Umfang der Quecksilberabgabe	32
2.1.2.2.2. Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung und der Form der Feilung	34
2.1.2.2.3. Bei Überschichtung mit Speichel	34
2.1.2.3. Berechnung der maximalen Quecksilberbelastung durch Quecksilberdampfabgabe	35

2.1.3.	Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen durch elektrochemische Korrosion	37
2.1.3.1.	Bestandteile des Amalgams, die der Korrosion unterliegen	37
2.1.3.2.	Bedingungen für elektrochemische Korrosion von Amalgam in der Mundhöhle	38
2.1.3.2.1.	Direkter Kontakt einer Amalgamfüllung mit einem edleren Metall	38
2.1.3.2.2.	Direkter Kontakt zweier Amalgamfüllungen unterschiedlicher Zusammensetzung	40
2.1.3.2.3.	Kontakt einer Amalgamfüllung mit zwei verschiedenen Elektrolytlösungen	40
2.1.3.2.4.	Lokalelementbildung	41
2.1.3.3.	Struktur der Korrosionszone	42
2.1.3.4.	Abhängigkeit von der Höhe des Quecksilber- und Silbergehaltes der Amalgamfüllung	43
2.1.3.5.	Begünstigende Faktoren für elektrochemische Korrosion	44
2.1.3.6.	Die Menge des durch Korrosion freigesetzten Quecksilbers	46
2.2.	Der Quecksilbergehalt im Urin bei Trägern alter und neuer Silberamalgamfüllungen	48
2.2.1.	Quecksilberbelastung durch frisch gelegte Füllungen	48
2.2.2.	Dauerbelastung durch Silberamalgamfüllungen	51
2.3.	Krankheitserscheinungen, die auf die Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen zurückgeführt werden	54
2.3.1.	Intoxikation und Allergie	54

	Seite
2.3.2. Pathogenese der Amalgamallergie	56
2.3.3. Klinik der Amalgamallergie	57
2.3.3.1. Beispiele klinischen Verlaufs	60
2.3.4. Nicht allergische Erkrankungen	61
2.4. Diskussion	63
2.5. Zusammenfassung	69



1. Einleitung

1.1. Kurze Darstellung des Füllmaterials Amalgam

Amalgame sind Legierungen, denen Quecksilber als Lösungsmittel für zusätzliche Legierungskomponenten dient. Man unterscheidet in der Zahnheilkunde einfache, binäre Amalgame wie das Kupferamalgam und zusammengesetzte Amalgame wie die Silber-Zinn-Amalgame (Edelamalgame). Silber-Zinn-Amalgamen werden noch andere Metalle in geringerem Maße zugesetzt (SAUERWEIN 1976). Heute werden in der Zahnheilkunde nur noch Edelamalgame verwendet. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich deswegen auf Silber-Zinn-Amalgame und läßt die Kupferamalgame unbehandelt.

Zum Gebrauch gefertigt werden die Silber-Zinn-Amalgame durch Vermengen von metallischem Quecksilber mit vorgefertigter Silber-Zinn-Feilung.

Das National Bureau of Standards fordert folgende Zusammensetzung der Feilung:

Silber	: mindestens 65%
Zinn	: mindestens 25%, höchstens 29%
Kupfer	: bis zu 6%
Zink	: bis zu 2%

Während der Amalgamierung hat Quecksilber die Aufgabe, die Oberfläche der Feilung durchzuweichen und die Zwischenräume zwischen der noch nicht amalgamierten Feilung mit neuer Matrix auszufüllen (ANDERSON 1969). Der nötige Quecksilbergehalt des Amalgams, der nach dem Mischvorgang in der fertigen homogenen Füllung nicht über 50% erreichen sollte, hängt u.a. von der Oberflächengröße der Feilung ab (ANDERSON 1969). Ein



Überschuß an Quecksilber führt zur Verformung des Amalgams und begünstigt die Quecksilberabgabe. Zuwenig Quecksilber läßt das Amalgam porös werden und begünstigt nachfolgende Korrosion (SAUERWEIN 1976).

Die Legierungsstruktur des Silber-Zinn-Amalgams besteht aus verschiedenen Kristallarten, die auch als Phasen bezeichnet werden:

Gamma-Phase : Ag_3Sn
Gamma-1-Phase : Ag_3Hg_4
Gamma-2-Phase : Sn_7Hg

Der prozentuale Anteil der einzelnen Kristallarten an der Legierungsstruktur ist von dem Mengenverhältnis der die Legierung bildenden Einzelkomponenten Silber, Zinn und Quecksilber abhängig.

Als Quecksilberlegierungen können Silberamalgamfüllungen grundsätzlich eine mögliche Quelle vermehrter Quecksilberbelastung für den Patienten darstellen, ebenso wie an eine mögliche Quecksilberexposition für Amalgamverarbeiter, für Zahnärzte und zahnärztliches Personal gedacht werden muß.

- 1.2. Kriterien einer erhöhten Quecksilber-
 exposition
- 1.2.1. Blut

Die Aufnahme von metallischem Quecksilber in den Körper kann über Lunge, Haut oder Gastro-Intestinal-Trakt erfolgen. Dabei spielt die Lunge als Eintrittspforte für Quecksilberdampf und Quecksilberpartikel die größte Rolle (HEFFEREN 1974, MOESCHLIN 1972, BERLIN et al. 1969, NOE 1959). Eingeatmete Quecksilberdampf-haltige Luft verläßt die Lunge in der Ausatmung nahezu frei von Quecksilber (MAYER 1975). Durch Auftragen Quecksilber-haltiger Salben oder Verreiben von Quecksilber oder Amalgam auf der Haut (bei Zahnärzten durch Berühren des frischen Amalgams mit den Fingern) ist ein weiterer Resorptionsweg gegeben. Auch eine Resorption durch die Mundschleimhaut ist möglich (SPRENG 1963 b). Metallisches Quecksilber ist in reinem Zustand im Magensaft fast vollständig unlöslich (FRYKHOLM 1957) und ist deswegen bei oraler Aufnahme relativ ungiftig (MOESCHLIN 1972). Peroral sind meist nur lösliche Quecksilberverbindungen wie Kalomel und Sublimat toxisch (BAADER 1961).

Der Transport aufgenommenen Quecksilbers und die Verteilung im Körper erfolgt nach Resorption im Blut. In Abhängigkeit davon, ob Quecksilber in Dampfform oder in ionisiertem Zustand aufgenommen wird, zeigen sich Unterschiede im Transport und der Biotransformation. Elementares durch Inhalation von Quecksilberdampf aufgenommenes Quecksilber entfaltet erst nach Oxidation seine Toxizität. Die Ionisierung elementaren Quecksilbers erfolgt teils im Blut, dort hauptsächlich

in den Erythrocyten, teils im Gewebe. Ionisiertes Quecksilber ist im Plasma an Protein, in den Erythrocyten an Hämoglobin gebunden, im Verhältnis 1:1. Nach Quecksilberdampfexposition erscheint Quecksilber teils unverändert teils oxidiert im Blut (BERLIN et al. 1969).

Vom Blut aus erfolgt die Diffusion aufgenommenen Quecksilbers in umgebendes Gewebe. Dort erfolgt auch die Speicherung von Quecksilber. Nach BÖNIG-KEIBEL (1961) reicht eine geringe Resorption von Quecksilber für eine Speicherung des Metalles in Organen aus. In einem Tierexperiment mit Hunden wies sie eine signifikante Erhöhung des Quecksilbergehaltes in Leber und Niere nach, wobei die Nieren am meisten gespeichert hatten. BUTT et al. (1950) waren zu gleichen Ergebnissen für den Menschen gekommen. YOUNG et al. (1930) halten Knochen und Leber für die Hauptspeicherorgane. LEISCHNER (1940) konnte in den frontalen und basalen Abschnitten des Gehirns Anreicherungen von Quecksilber finden. Eine Speicherung von Quecksilber über längere Zeit hält MOESCHLIN (1972) in den Reticuloendothelien für möglich. Der Nachweis gelingt auch in Haaren und Nägeln von Quecksilberexponierten (GASSER 1976, GUTENMANN et al. 1973, LENIHAN et al. 1973).

Die Höhe der Quecksilber-Plasmakonzentration ist abhängig von der Abgabe gespeicherten Quecksilbers aus den Körpergeweben an das Blut und von der Menge des bei Exposition absorbierten und in das Blut übergetretenen Quecksilbers (BERLIN et al. 1969). Als obere Grenze der Norm wird heute eine Quecksilberkonzentration von $0,5 \mu\text{g Hg}/100 \text{ ml Blut}$ angegeben (KRÖNCKE et al. 1980).

In der Literatur wird immer wieder auf die Möglichkeit der Methylierung von Quecksilber im Organismus hingewiesen.

CROSS et al. (1978) bestimmten im Blut von elf Zahnärzten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die keiner beruflichen Quecksilberexposition ausgesetzt war, signifikant erhöhte Methylquecksilberkonzentrationen. Nach Ansicht der Autoren deuten die Ergebnisse darauf hin, daß inhalierter Quecksilberdampf im Körper teilweise in Methylquecksilber transformiert wird. So sei die Symptomatik des chronischen Merkuralismus bei Zahnärzten vermutlich auf die Wirkung von Methylquecksilber zurückzuführen, zumal viele Krankheitserscheinungen bei chronischer Vergiftung mit anorganischem Quecksilber auch bei Intoxikationen mit Methylquecksilber zu finden sind.

ROWLAND et al. (1975) konnten zeigen, daß aus menschlichem Faeces isolierte Bakterien- und Hefekulturen Quecksilber in Methylquecksilber überführen können. Staphylokokken-, Streptokokken-, Hefepilzarten und Escherischia coli produzieren Methylquecksilber, während nur wenige Anaerobier dazu in der Lage sind. Anaerobier spielen nach Meinung von ROWLAND et al. (1975) eine untergeordnete Rolle bei der Methylierung von Quecksilber. Die Autoren sind jedoch der Auffassung, daß noch andere Faktoren bei der Methylierung von anorganischem Quecksilber von Bedeutung sind.

KOJIMA et al. (1973) berichten in einer literarischen Übersicht über Untersuchungen, die nachweisen konnten, daß in homogenisierter Tunfischleber anorganisches Quecksilber in die methylierte Form übergeführt werden kann. IMURA et al. (1977) fanden eine klare Korrelation zwischen dem Umfang der Methylierung von

Quecksilber und dem Vitamin B 12-Gehalt in homogenisiertem Lebergewebe verschiedener Fische und Säugetiere. Sie schlossen daraus, daß Vitamin B 12 einen wichtigen Faktor für die Methylierung von Quecksilber darstellt.

1.2.2. Urin

Die Ausscheidung absorbierten Quecksilbers erfolgt hauptsächlich durch die Nieren und den Darm. Unterschiedliche Auffassungen bestehen im Hinblick auf das Verteilungsmuster. BORINSKI (1931) gibt eine Verteilung Niere - Darm von 10% zu 90% an. Während BAADER (1961) ebenfalls der Meinung ist, daß die Hauptmenge über den Darm ausgeschieden wird, betrachtet MOESCHLIN (1972) als Hauptausscheidungsweg die Nieren. SCHNEIDER (1976) hält eine Ausscheidung der aufgenommenen Quecksilbermenge im Bereich von 10 bis 15% durch die Nieren für annehmbar. Über Speichel, Schweiß und Galle wird ebenfalls Quecksilber abgegeben (BERLIN et al. 1969).

Die Ausscheidung von Quecksilber über die Nieren erfolgt wegen der Proteinbindung im Plasma nicht durch Ultrafiltration, die glomeruläre Filtration spielt eine geringe Rolle. Vielmehr wird die Tubuluswand direkt durchwandert (BERLIN et al. 1969).

Zwischen der Quecksilber-Plasmakonzentration und der Höhe der Urinkonzentration lassen sich hohe Korrelationen nachweisen (BERLIN et al. 1969).

In der vorliegenden Arbeit wird die Bestimmung des Quecksilbers im Urin zum Kriterium einer fraglichen Exposition genommen. Von Interesse sind der Normbereich des Quecksilbergehaltes im Urin und Urin-Quecksilberwerte, die den Verdacht auf Intoxikation erregen müssen.

Als Normbereich des Quecksilbergehaltes im Urin nehmen BATTISTONE et al. (1973) einen Wert von 15 bis 20 μg Hg/l Urin an. EAMES et al. (1976) weisen darauf hin, daß auch die American Conference of Governmental Industrial Hygienists als normalen Urinbefund 0 bis 20 μg /l angibt. Eine Urinausscheidung bis zu 10 μg /l halten BAADER (1961) und MOESCHLIN (1972) für normal. BUCHWALD (1972) findet 10 μg /l bei nicht Exponierten kaum überschritten. STEWART et al. (1971) erhalten eine mittlere Konzentration von 14 μg /l. KRÖNCKE et al. (1980) finden in ihrer Arbeit bei Personen, die keiner Quecksilberexposition ausgesetzt waren und keine Amalgamfüllungen trugen, eine durchschnittliche Quecksilberausscheidung im Urin von 1,54 μg /l. In diesen Untersuchungen wird als obere Normgrenze eine Konzentration von 15 μg Hg/l Urin betrachtet.

Als sicheres Zeichen einer Quecksilberexposition werten TAYLOR et al. (1973) eine Ausscheidung von 40 μg /24 Stunden. Bei BATTISTONE et al. (1973) sind Werte über 20 μg /l gegenüber Kontrollgruppen signifikant erhöht. NOE (1960) gibt eine Urinausscheidung über 100 μg /l als abnorm an. Auch SCHIELE et al. (1977) sind der Meinung, daß bei einem Quecksilberspiegel bis zu 100 μg /l die Gesundheit nicht gefährdet ist.

Ausgehend von diesen Werten läßt sich feststellen, daß

eine Quecksilberausscheidung im Urin von 15 bis 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ als nicht erhöht anzusehen ist.

Bei welcher Höhe der Urinwerte Verdacht auf Intoxikationserscheinungen zu haben ist, wird unterschiedlich beurteilt. Es werden sehr differente Werte im Bereich von 40 $\mu\text{g}/24$ Stunden (MOESCHLIN 1972) bis zu 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ (LANE 1954) angegeben. Über diesem Wert von 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ beobachteten BIDSTRUP et al. (1951) normalerweise Zeichen chronischer Quecksilberintoxikation. WEST et al. (1968) berichten von Vergiftungsfällen in Quecksilberminen in Californien. Von 35 Minenarbeitern mit Urinkonzentrationen über 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ hatten 23 Untersuchte Vergiftungserscheinungen und zwei hatten Symptome, die den Verdacht auf eine Vergiftung erregten.

Aber auch bei Konzentrationen über 600 $\mu\text{g}/\text{l}$ müssen keine Intoxikationserscheinungen auftreten (WALLACH 1972). Auf der anderen Seite berichten TAYLOR et al. (1973) von vier Männern mit klinischen Zeichen einer Vergiftung ohne wesentlich erhöhte Urinwerte: sie lagen zwischen 46 und 67 $\mu\text{g}/24$ Stunden.

Im Ganzen gesehen sind bei Konzentrationen unter 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ klinische Vergiftungserscheinungen unwahrscheinlich (KELMAN 1978). TAYLOR et al. (1973) stellen fest, daß die Marke von 300 $\mu\text{g}/\text{l}$ Gültigkeit als Intoxikationsmarke hat. Diese Auffassung deckt sich mit dem Bericht eines internationalen Komitees über die maximal erlaubten Konzentrationen von Quecksilberverbindungen (BERLIN et al. 1969); diese Arbeitsgruppe korreliert mit Hinweis auf große individuelle Schwankungen einen Luftgehalt von 0,1 mg Hg/m³ - das entspricht dem in der Bundesrepublik Deutschland gültigen MAK-Wert - mit einer Urinkonzentration von

100 μg bis 300 $\mu\text{g}/1$ Urin.

(Der MAK-Wert ist die Arbeitsplatz-Luftkonzentration, bei deren täglicher achtstündiger Exposition unter Einhaltung einer 45-Stunden Woche keine Gesundheitsschäden auftreten. Dementsprechend dürfte bei einem Quecksilbergehalt des Urins von 100 μg bis 300 $\mu\text{g}/1$ mit einer Gefährdung der Gesundheit nicht zu rechnen sein.)

1.2.3. Bedingungen für die Beurteilung einer
Quecksilberexposition anhand erhöhter
Quecksilberausscheidung im Urin

Eine sichere klinische Beurteilung der Quecksilberkonzentration im Urin gestaltet sich deswegen schwierig, weil nur eine geringe Korrelation zwischen der Höhe des Quecksilbergehaltes im Urin und auftretenden Intoxikationserscheinungen zu finden ist. Diese Meinung vertreten STEVENS et al. (1975), McGinnis et al. (1974), SMITH et al. (1970), BERLIN et al. (1969), JACOBS et al. (1964), BAADER (1961).

Die inter- und intraindividuelle Ausscheidungsrate bei Quecksilberexposition ist sehr unterschiedlich (BERLIN et al. 1969, JACOBS et al. 1964). Sie kann stündlich wechseln. Es existiert im individuellen Fall keine direkte Beziehung zwischen der Höhe der Exposition und der Menge des ausgeschiedenen Quecksilbers (STEVENS et al. 1975, BERLIN et al. 1969, JACOBS et al. 1964). Die Ursache liegt darin, daß der Stoffwechsel des Quecksilbers, das Ausmaß der Speicherung von Quecksilber in Organen sehr unter-

schiedlich ist (BERLIN et al. 1969). Je nach Umfang der Speicherung absorbierten Quecksilbers sind die Urinkonzentrationen verschieden hoch. Deswegen kann auch von der Höhe der Urinkonzentration nicht auf die Intoxikationsgefahr im individuellen Fall geschlossen werden.

BAADER (1961) warnt vor einer Überschätzung der Quecksilberbefunde im Urin: "Bei schwersten Formen der Quecksilber-Vergiftung erfährt man oft, daß das Quecksilber retiniert ist, hingegen erlebt man manchmal infolge schneller Ausscheidung trotz beschwerdefreien Befindens hohe Quecksilberwerte im Harn. Diese geben nur den Beweis der ‚Quecksilberdurchwanderung‘ des Körpers und erlauben kein abschließendes Urteil über etwa aufgetretene Körperschädigungen".

BURGNER et al. (1952) vermuten, daß Personen, die in großem Umfang Quecksilber ausscheiden hinsichtlich der Gefahr einer Vergiftung weniger gefährdet sind als Personen, die geringere Konzentrationen von Quecksilber im Urin aufweisen. Hohe Urin-Quecksilberwerte bedeuten deswegen nicht unbedingt Intoxikation (MOESCHLIN 1972). Die Anwesenheit von Quecksilber im Urin weist nur auf Exposition und Absorption hin (MCGINNIS et al. 1974). STEWART et al. (1971) stellen fest, daß erst dann ein volles Verständnis für die Toxizität des Quecksilbers erreicht werden kann, wenn zwischen Quecksilberaufnahme, Quecksilberspeicherung (autoptischer Befund) und Quecksilberexkretion eine Verbindung gefunden werden kann.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die Eintrittspforte für Quecksilber hauptsächlich die Lunge darstellt, absorbiertes Quecksilber über das Blut im

Körper verteilt, in Organgeweben gespeichert wird und den Organismus über Kot und Urin im Verhältnis 85% zu 15% wieder verläßt. Anorganisches Quecksilber kann im Organismus zu Methylquecksilber transformiert werden. Als Normwert der Quecksilberausscheidung im Urin wurde eine Konzentration von 15 bis 20 $\mu\text{g Hg/l}$ Urin gefunden, als Intoxikationsmarke ein Wert von 300 $\mu\text{g/l}$ angenommen. Trotz der Schwierigkeiten der klinischen Beurteilung der Urinbefunde auf Grund der fehlenden Korrelation zwischen der Höhe der Exkretion und dem Ausreten von Intoxikationserscheinungen, stellt die Messung des Urin-Quecksilbers ein gutes Maß für absorbiertes Quecksilber dar (HEFFEREN 1974). Sie ist die beste Möglichkeit, jede überhöhte Absorption von Quecksilber aufzudecken (PAGNOTTO et al. 1976). Wenn auch im individuellen Fall keine direkte Beziehung zwischen dem Ausmaß der Exposition und der Höhe der Exkretion besteht, ist diese Korrelation bei einer größeren Gruppe von Probanden auffallend (BERLIN et al. 1969, GOLDWATER 1964, JACOBS et al. 1964).

Auf eine größere Testgruppe gezogen, ist deswegen die Höhe der Urinexkretion ein guter Hinweis auf die Höhe der vorangegangenen Exposition.

2. Die Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen

Silberamalgamfüllungen stellen als Quecksilberlegierungen für ihre Träger eine mögliche Quelle zusätzlicher Quecksilberbelastung dar. Auf die Problematik der Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen und einer möglicherweise daraus resultierenden Intoxikation wurde von dem Chemiker Stock in den zwanziger Jahren aufmerksam gemacht. Die ‚Amalgamfrage‘ steht seitdem immer wieder zur Diskussion.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den Mechanismen der Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen, mit dem Nachweis der Absorption des abgegebenen Quecksilbers durch Messung des Quecksilbergehaltes im Urin und einer möglichen Gesundheitsgefährdung und klinischen Krankheitserscheinungen, die auf Quecksilberexposition durch das Zahnfüllmaterial zurückzuführen sind.

2.1. Der Mechanismus der Quecksilberabgabe

In der Literatur sind zahlreiche Untersuchungen zu finden, nach welchen in dem eine Amalgamfüllung umgebenden Gewebe Quecksilber nachgewiesen werden konnte. Die Frage, ob überhaupt Quecksilber aus Amalgam freigesetzt wird, muß auf Grund dieser Ergebnisse positiv beantwortet werden. Welche Mechanismen bei der Quecksilberabgabe eine Rolle spielen, wird in den einzelnen Abschnitten behandelt.

Einige Autoren versuchten den Nachweis von Amalgambestandteilen in der Zahnhartsubstanz oder im Pulpagewebe amalgamgefüllter Zähne, andere implantierten Silberamalgam in Knochen und analysierten das unmittelbar angrenzende Knochengewebe.

MOCKE (1971) konnte acht Tage nach dem Legen einer Amalgamfüllung durch Neutronenaktivierung Ablagerungen der Hauptbestandteile des Amalgams, Quecksilber, Silber und Zinn, in der Zahnhartsubstanz nachweisen. Analysen von MASSLER et al. (1953) ergaben bei Fehlen von Zementunterlagen einen Quecksilbergehalt des Dentins amalgamgefüllter Zähne von 0,5 bis 5%.

Zehn Tage nach dem Legen einer mit radioaktivem Hg^{203} markierten Amalgamfüllung konnte mit der Geiger-Müller-Zählung einige Zehntel Mikrogramm Quecksilber im gesamten Pulpagewebe nachgewiesen werden (FRYKHOLM et al. 1955). FRYKHOLM et al. (1955) schlossen jedoch eine mögliche artifizielle Verunreinigung der Pulpen nicht aus.

TILL und MALY (1978) stellten fest, daß der Quecksilbergehalt von Zahnwurzeln amalgamgefüllter Zähne (keine

Wurzelfüllungen) und des unter diesen Zähnen liegenden Alveolarknochens höher war als bei Zähnen ohne Amalgamfüllungen. Der Quecksilbergehalt war außerdem von der Liegedauer der Füllung abhängig.

BABENDERERDE et al. (1970) hingegen konnten nach sieben Wochen kein radioaktives Hg^{203} in den Pulpen von Hunden feststellen, deren Gebiß mit je sechs Silber-Zinn-Amalgamfüllungen mit und ohne Unterfüllungen versehen wurde. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, daß zu einem früheren Zeitpunkt radioaktives Hg^{203} durch die Dentinkanälchen über die Pulpen in den Kreislauf gelangt sein könnte, was bei der Analyse nach sieben Wochen nicht unbedingt nachzuweisen sei.

NAUJOKS et al. (1963) und RUST (1962) schlossen histotopochemisch mit Schwefelwasserstoff und autoradiographisch ein Eindringen von Quecksilber in die Dentinkanälchen von Zähnen mit Amalgamfüllungen unterschiedlichen Alters aus. RUST (1962) verwarf deswegen auch die häufig geäußerte Vermutung, daß die zu beobachtende grau-schwarze Verfärbung der Zahnhartsubstanz neben Amalgamfüllungen durch die Diffusion der Amalgambestandteile zustande kommt. MOCKE (1971) schloß sich dieser Auffassung jedoch wieder an.

BÖNIG-KEIBEL (1961) implantierte Hunden Hg^{203} -Amalgamstücke in den Unterkiefer. In dem Gewebe, das diesem radioaktiv markiertem Amalgam auflag, konnte sie hohe Quecksilberwerte nachweisen.

TILL, ADAMIKER et al. (1978) setzten Ratten in den Schädelknochen mit Hg^{203} markiertes Amalgam ein. An den Kontaktzonen des Knochens mit dem Amalgam zeigten sich Knochenabbauerscheinungen und eine erhöhte

Quecksilberaktivität.

Alle bioptischen Befunde der Gingiva neben Zähnen mit Silberamalgamfüllungen zeigten eine merklich höhere Quecksilberkonzentration als Kontrollbiopsien neben Zähnen mit intaktem Zahnschmelz (FREDEN et al. 1974). GASSER (1976) beobachtete bei histologischen Untersuchungen von Biopsien grau-schwarzer Flecke des Zahnfleisches im Bereich der Kieferkämme eine Ansammlung von Amalgamkörnchen, die um kleine Gefäße herum gruppiert und die auch innerhalb von Gefäßlumina zu finden waren. Seine Interpretation geht dahin, daß in der Schleimhaut retinierte Amalgambröckchen die Tendenz aufweisen, aufgelöst und abtransportiert zu werden.

Diese Ergebnisse zeigen, daß eine Quecksilberabgabe aus Amalgam erfolgt. Von Interesse ist nun, in welcher Form - als ionisiertes oder metallisches Quecksilber - und durch welche Mechanismen Quecksilber aus Amalgamfüllungen freigesetzt wird und in welcher Höhe die an den Organismus abgegebene Quecksilbermenge liegt.

- 2.1.1. Löslichkeit von Quecksilber aus Silber-
 amalgamfüllungen im Speichel
- 2.1.1.1. Zeitabhängigkeit

BABENDERERDE et al. (1970), MAYER (1976) und SCHNEIDER (1976) konnten eine Abhängigkeit der Quecksilberabgabe von der Zeit feststellen.

BABENDERERDE et al. (1970) legten mit Hg^{203} -Amalgam gefüllte Kunststoffkavitäten mit einer genormten Oberfläche von 1 cm^2 in eine auf 37°C erwärmte physiologische Kochsalzlösung und registrierten die Hg^{203} -Aktivität des künstlichen Speichels in bestimmten Zeitabständen, wobei die Kochsalzlösung nach jeder Messung erneuert wurde. Relativ große Mengen an Quecksilber wurden in den ersten 24 bis 40 Stunden abgegeben, wobei nach zehn Stunden schon 80% der insgesamt abgegebenen Quecksilbermenge in den Speichel diffundiert war. In der nachfolgenden Zeit gelangten nur noch geringe Mengen Quecksilber in den künstlichen Speichel.

Mit einer atomabsorptionsspektrographischen Bestimmung zeigt MAYER (1976), daß im Hinblick auf die Gesamtabgabe die größte Menge an Quecksilber von frisch gelegten Füllungen während der ersten vier Tage freigegeben wurde. Die genormten Amalgamfüllungen mit einer Oberfläche von $0,5 \text{ cm}^2$ und einem Gewicht von $1,4 \text{ g}$ wurden bei 34°C in aqua bidestillata, das als künstlicher Speichel diente, inkubiert. Die Flüssigkeit wurde nach jeder Messung erneuert. Am ersten Tag betrug die Quecksilberabgabe über 50% der insgesamt abgegebenen Menge, nach drei Tagen über 80% und nach sieben Tagen mehr als 95%. Die Messungen

am zehnten Tag nach dem Einsetzen der Füllung ergaben weniger als $0,3 \times 10^{-7}$ g Quecksilber.

SCHNEIDER (1976) bohrte in seinen Versuchen in die Oberfläche von extrahierten Zähnen Kavitäten, die eine Füllmenge von 1,9 g Silberamalgam aufnehmen konnten. Er verwendete als Silberamalgam das Produkt Dispersalloy^R, dessen besonders korrosionsanfällige Zinn/Quecksilber-Phase reduziert ist. In einer Versuchsserie legte SCHNEIDER (1976) die extrahierten und mit Silberamalgam frisch gefüllten Zähne bei 37°C in 100 ml künstlichen Speichel. In getrennten Ansätzen mit unterschiedlichen Kontaktzeiten zwischen einer Stunde und zehn Tagen (240 Stunden) wurden insgesamt 27 Messungen mit der flammenlosen Atomabsorption durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten als Ergebnis ein fast völliges Stagnieren der Quecksilberabgabe an den künstlichen Speichel nach 48 Stunden.

2.1.1.2. Temperaturabhängigkeit

STRASSBURG et al. (1965) konnten zeigen, daß die Größe der Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen von der Höhe der Temperatur abhängig ist, die auf die Amalgamfüllung einwirkt. Mit der Fragestellung, wie sich die Aufnahme heißer Speisen und heißer Getränke auf die Löslichkeit von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen im Speichel auswirkt, setzten die Autoren Amalgamprüfkörper verschieden stark erhitzten Flüssigkeiten im Bereich von 37 bis 80°C aus. STRASSBURG et al. (1965) schließen sich der Meinung an, daß durch Aufnahme heißer Speisen und heißer Getränke Temperaturen zwischen

60 und 65°C auf die Amalgamoberfläche innerhalb der Mundhöhle einwirken können. Bei einer kritischen Temperatur von 60°C führt eine Erweichung der Oberfläche durch Quecksilberanreicherung zur Verformung des Prüfkörpers. Die Gefahr der Quecksilberabgabe an den Organismus ist jenseits dieser Temperaturmarke von 60°C besonders groß, wenn bei mechanischer Einwirkung auf Silberamalgamfüllungen während des Kauens von Speisen die mit Quecksilber angereicherte Oberfläche abgetragen wird.

2.1.1.3. Die Menge des in Lösung gehenden Quecksilbers

Unterschiedliche Angaben werden über die absolute Menge des in Lösung gehenden Quecksilbers gemacht. BABENDERERDE et al. (1970) geben den Umfang der Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen mit der Oberfläche von 1 cm² mit 23 bis 32 µg bei 37°C innerhalb von 400 Stunden an. SCHNEIDER (1976) fand bei 37°C für eine Silberamalgamfüllung von 1,9 g Gewicht nach einer Kontaktzeit von 240 Stunden einen Maximalwert für gelöstes Quecksilber von insgesamt 4,0 µg Hg/100 ml Speichel. Bei einer täglichen Speichelproduktion von einem Liter errechnete er für eine Amalgamfüllung eine gesamte Quecksilberbelastung von 30 bis 40 µg, bei einer Produktion von 1,5 Liter Speichel von 50 bis 60 µg.

Gegenüber BABENDERERDE et al. (1970) und SCHNEIDER

(1976) konnte MAYER (1976) in der eine Silberamalgamfüllung umgebenden Flüssigkeit eine Quecksilbermenge von insgesamt nur $2,37 \mu\text{g}$ messen. Die Füllungen hatten eine Oberfläche von $0,5 \text{ cm}^2$ und ein Gewicht von $1,4 \text{ g}$. FRYKHOLM (1957) kam zu ähnlichen Absolutzahlen; er konnte radiometrisch an Füllungen mit einer Oberfläche von 2 cm^2 und einem Gewicht von $2,5 \text{ g}$ nach einer Inkubationszeit von 48 Stunden bei 37°C in 25 ml Speichel Werte von $1,4 \mu\text{g}$ und $1,6 \mu\text{g}$ Quecksilber messen. (Tabelle 1/S. 25 gibt eine Übersicht über die Versuchsbedingungen und die Untersuchungsergebnisse der vorstehend angeführten Experimente.) Die in den Speichel diffundierende Quecksilbermenge steigt mit zunehmender Füllungszahl an (MAYER 1976). Das Mischungsverhältnis Feilung zu Quecksilber hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Menge des abgegebenen Quecksilbers aus Silber-Zinn-Amalgamfüllungen (BABENDERERDE et al. 1970).

Im Gegensatz zu den oben dargestellten Berichten konnten NAUJOKS et al. (1963) und RUST (1962) radiometrisch keine Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen in die umgebende Flüssigkeit nachweisen. NAUJOKS et al. (1963) schlossen allerdings nicht aus, daß das in Lösung gegangene Quecksilber während der Inkubationszeit (Proben wurden bei 37°C in physiologischer Kochsalzlösung inkubiert) und während der Manipulation beim Meßvorgang selbst, verdampft sein kann.

Tabelle 1 Die maximal an Speichel abgegebene Quecksilbermenge unter Berücksichtigung der Oberfläche und des Gewichtes der Amalgamfüllungen, der Inkubationszeit und der Inkubationstemperatur

Autor	Oberfl. in cm ²	Gewicht in g	Temp. in °C	Zeit in h	max. abgegebene Hg-Menge in µg
BABENDERERDE	1	-	37	400	23 - 32
FRYKHOLM	2	2,5	37	48	1,4 - 1,6
MAYER	0,5	1,4	37	240	2,37
SCHNEIDER	-	1,9	37	240	50 - 60

2.1.1.4. Einfluß von Kau- und Trinkakt

Alle oben angeführten Versuche sind in-vitro-Untersuchungen, die mechanische Einwirkungen auf Amalgamfüllungen, wie sie während des Kauens von Speisen eine Rolle spielen, nicht berücksichtigen. WAGNER et al. (1973) unternahmen Experimente, die die mechanische Komponente mit einschließen. Sie spannten zwei menschliche Molare mit Amalgamfüllungen in eine Apparatur ein, die eine Kau-Mahlbewegung nachahmen konnte. Die Amalgamoberfläche unterliegt durch die mechanische Beanspruchung einem dauernden Schleifvorgang, der die oberflächlichen an Quecksilber verarmten Schichten abschleift. Die sich immer wiederholende mechanische Abrasion bewirkt so eine dauernde Auffrischung des Amalgams. Dies kann eine ständige Quecksilberabgabe ermöglichen.

Ein Vergleich zweier Untersuchungen, bei denen die mechanische Komponente das eine Mal Berücksichtigung findet (WAGNER et al. 1973), das andere Mal nicht (TILL und WAGNER 1973) zeigt, daß bei mechanischer Einwirkung auf Silberamalgamfüllungen die Quecksilberabgabe an die umgebende Flüssigkeit unter vergleichbaren Bedingungen höher liegt als unter Bedingungen, unter denen kein dauernder Schleifvorgang stattfindet. In den Versuchen, bei denen die Oberfläche der Amalgamfüllungen durch eine Kau-Mahlbewegung immer wieder erneuert wurde, waren nach 48 Stunden $0,7 \mu\text{g Hg/ml}$ Pufferlösung nachweisbar (WAGNER et al. 1973).

Bei den Untersuchungen, die diese Komponente nicht berücksichtigten, betrug die freigegebene Quecksilbermenge nur $0,18 \mu\text{g/ml}$ (TILL und WAGNER 1973).

WAGNER et al. (1973) kamen außerdem zu dem Ergebnis, daß die Quecksilberabgabe in den Experimenten mit simuliertem Kauakt zeitabhängig weniger stark abnimmt. Sie beendeten die Untersuchungen nach 48 Stunden. Deswegen lassen sich auch keine Aussagen darüber machen, ob die Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen bei mechanischer Beanspruchung überhaupt zum Erliegen kommt.

2.1.2. Abgabe von Quecksilberdampf aus Silberamalgamfüllungen

2.1.2.1. Während der Behandlung

Zunächst soll die Abgabe von Quecksilberdampf aus Amalgamfüllungen während der Behandlung besprochen werden. Die einzelnen Phasen der Behandlung wurden selektiv auf das Freiwerden von Quecksilberdampf untersucht:

- das Einsetzen und Stopfen von Amalgamfüllungen in die Kavität
- der Einfluß der Politur und
- das Entfernen alter Füllungen durch Ausbohren des Amalgams aus der Kavität.

FRYKHOLM (1957) arbeitete in seinen Experimenten mit einem Atomabsorptionsspektrographen, dessen Aufbau es erlaubte, die Quecksilberdampfkonzentration innerhalb der Mundhöhle sowie der ausgeatmeten Luft in der Mundöffnung der Testperson zu bestimmen. Die Luft wurde abgesaugt und zur Analyse dem Spektrographen zugeführt. Den Probanden wurden zwischen zwei und fünf Füllungen mit einer gesamten Oberfläche von 1,2 bis 3,3 cm² gelegt. Während des Einsetzens und Stopfens dieser Füllungen ergaben sich durchschnittliche Konzentrationen des Quecksilbergehaltes der Luft in der Mundöffnung von 0,02 bis 0,2 mg Hg/m³. Momentane Spitzenkonzentrationen von 0,8 bis 0,9 mg/m³ wurden in manchen Fällen während des Stopfvorganges gemessen.

MAYER (1975) konnte innerhalb der Mundhöhle mit dem von ihm entwickelten Dampfprüf Röhrchen während des manuellen Stopfvorganges einen Durchschnittswert von 0,32 mg Hg/m³ messen. Bei mechanischem Stopfen mit

einem Ultraschallgerät traten deutlich sichtbar Quecksilberperlen an die Oberfläche der Füllung; die Meßwerte lagen mit einem Mittelwert von $0,77 \text{ mg/m}^3$ höher als beim manuellen Stopfen.

Bei sämtlichen Politurverfahren wird in der Mundhöhle Quecksilberdampf freigesetzt (MAYER 1975). Eine Abhängigkeit von den verschiedenen Verfahren zeigt sich an folgenden Meßwerten: eine Politur mit Schlagpolierern (trocken) erzeugt mittlere Konzentrationen von $0,27 \text{ mg/m}^3$. Bei nassem Polieren mit Bürste und Schlammkreide werden $0,34 \text{ mg/m}^3$ erreicht. Bei der Arbeit mit polierpastenbeschichtetem Gummipolierer kann ein Quecksilbergehalt der Luft von ebenfalls $0,34 \text{ mg/m}^3$ gemessen werden, während die Quecksilbermenge, die bei der Politur mit trocken arbeitenden Gummipolierern freigesetzt wird, die höchste mit dem Dampfprüfrohren meßbare Konzentration von $1,0 \text{ mg/m}^3$ überschreitet.

Die große Wärmeentwicklung, wie sie durch die Politur mit Karborundumsteinchen und trocken arbeitenden Gummipolierern erzeugt wird, kann durch Flüssigkeitszufuhr mittels Polierpaste oder Schlammkreide vermindert werden; das Ausmaß der Abgabe von Quecksilberdampf kann so durch Politurverfahren mit Flüssigkeitszufuhr vergleichsweise niedrig gehalten werden.

Bei der Entfernung von Silberamalgamfüllungen durch Ausbohren aus den Kavitäten entstehen immer Quecksilberdämpfe. Niedrigste Konzentrationen wurden bei niedertourigem Vorgehen (5000 Umdrehungen/Minute) unter Wasserberieselung gemessen. Hier lag der Luftwert bei $0,12 \text{ mg Hg/m}^3$ Luft. Höchste Werte von über $1,0 \text{ mg/m}^3$ wurden bei Arbeiten mit Turbine bei

280.000 Umdrehungen/Minute ohne Spray bestimmt. Gleichhohe Konzentrationen konnte MAYER (1975) innerhalb der Mundhöhle bei niedertourigem Ausbohren ohne Spray und höchsttourigem mit Spray messen; sie betrugen 0,85 mg Hg/m³ Luft.

Die Menge des abgegebenen Quecksilberdamfes steigt mit Erhöhung der Umdrehungszahl des Bohrers und bei Fehlen der Wasserberieselung an (MAYER 1975).

(Tabelle 2/S. 31 gibt über das Ausmaß der Quecksilberdampfabgabe aus Silberamalgamfüllungen während der einzelnen Behandlungsschritte einen Überblick.)

Tabelle 2

Die Abgabe von Quecksilberdampf in der Zeit der Behandlung; während des Stopfvorganges, der Politur und bei Entfernung alter Füllungen durch Ausbohren aus der Kavität.

Phase der Behandlung	Autor	Verfahren	Meßergebnis in mg Hg/m ³
Stopfvorgang	FRYKHOLM	manuell	bis 0,2
	MAYER	manuell	0,32
		mechanisch mit Ultraschall	0,77
Politur	MAYER	Schlagpolierer, trocken	0,27
		Bürste und Schlämme, naß	0,34
		Gummipolierer und Polierpaste, naß	0,34
		Gummipolierer, trocken	>1,0
		Karborundumsteinchen	>1,0
Ausbohren	MAYER	niedertourig, 5000 UpM, naß	0,12
		niedertourig, 5000 UpM, trocken	0,85
		hochtourig, 280000 UpM, naß	0,85
		hochtourig, 280000 UpM, trocken	>1,0

2.1.2.2. Nach der Behandlungsphase

2.1.2.2.1. Zeitdauer und Umfang der Quecksilberabgabe

Die Dauer der Quecksilberdampf-abgabe aus Silberamalgamfüllungen nach Beendigung der Behandlung gibt CHAN et al. (1972) mit fünf Tagen an. Nach diesem Zeitraum konnte er mit der Seleniumsulfid-Methode über keiner der von ihm untersuchten Amalgamfüllung einen schwarzen Niederschlag, der die Quecksilberdampf-abgabe angezeigt hätte, feststellen.

SVARE et al. (1973) unternahmen ein Experiment, bei dem eine mit Silberamalgam gefüllte Kavität in einem geschlossenen System einem ständigen konstanten Luftstrom von 20°C Temperatur ausgesetzt war. Die über die Amalgamfüllung gestrichene Luft wurde laufend atomabsorptionspektrographisch analysiert. Die Experimente wurden über unterschiedlich lange Zeit hinweg durchgeführt. Die Beobachtungszeit betrug mindestens 100 Minuten, die längste Beobachtungsdauer lag bei 320 Minuten. Die Quecksilberdampf-abgabe nähert sich asymptotisch mit der Zeit dem Nullwert. Durch Extrapolation der gefundenen Werte wurde berechnet, daß die Quecksilberdampf-abgabe nach 400 Minuten endet. Für diese Zeit von 400 Minuten, die damit die Gesamtmenge des abgegebenen Quecksilbers umfaßt, geben SVARE et al. (1973) den Umfang der Quecksilberdampf-abgabe mit $0,3 \times 10^{-6} \text{ g Hg/cm}^2$ Oberfläche bei 20°C an. Bei einer Temperatur von 37°C erhöht sich diese Menge auf $1,2 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2$.

Die Untersuchungen von KÜHL (1966 a, 1963) zeigen, daß bei einer Temperatur von 37°C die Quecksilberdampf-abgabe aus Silberamalgamfüllungen, gemessen über trok-

kenen Oberflächen innerhalb weniger Tage von einem Ausgangswert von 0,2 mg pro Tag auf Werte von 0,005 mg pro Tag zurückgeht. So kam KÜHL (1966a, 1963) zu dem Ergebnis, daß trockene Silberamalgamfüllungen mit einer freien Oberfläche von 90 mm^2 bei 37°C bis zu 0,005 mg Quecksilber pro Tag abgeben.

MAYER (1975) ist der Meinung, daß bei Mundtemperatur Amalgamfüllungen in trockenem Zustand auch noch nach Jahren Quecksilber abgeben. Er stellte fest, daß die Quecksilberdampfabgabe umso höher ist, je größer die Füllungsoberfläche ist. Innerhalb einer künstlichen Mundhöhle konnte MAYER (1975) über einer vier Jahre alten trockenen Amalgamfüllung mit einer Oberfläche von 400 mm^2 eine Quecksilberdampfkonzentration von $0,01 \text{ mg/m}^3$ Luft bei 31°C messen. Auch TEIXEIRA et al. (1970) sind der Auffassung, daß sowohl neuen wie alten Füllungen Quecksilberdampf entweicht.

Zu erwähnen sind hier die Untersuchungen von GAY et al. (1979), die dafür sprechen, daß eine mechanische Beanspruchung der Amalgamfüllung eine dauernde Quecksilberdampfabgabe unterhält. GAY et al. (1979) fanden, daß der Quecksilbergehalt der expirierten Luft bei Probanden, die 15 Minuten Kaugummi gekaut hatten, um mindestens vier mal höher lag wie zum Zeitpunkt vor dem Kauvorgang. Die Füllungen waren zwischen einer Woche und zwei Jahren alt.

REYNOLDS (1974) Messungen hingegen brachten bei 37°C nur negative Ergebnisse.

2.1.2.2.2. Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung und der Form der Feilung

Für das Ausmaß der Quecksilberdampfabgabe scheint die Art der Oberflächenbehandlung der Silberamalgamfüllung und die Form der verwendeten Feilung von Bedeutung zu sein. TEIXEIRA et al. (1970) wiesen die stärkste Quecksilberverflüchtigung für Amalgame ohne Oberflächenbehandlung nach. Die Quecksilberabgabe kann am stärksten reduziert werden, wenn vor dem Polieren die Amalgamfüllung geschliffen wurde.

SVARE et al. (1972) fanden, daß die Verflüchtigung des Quecksilbers weniger vom Quecksilbergehalt des Amalgams, sondern vielmehr von der Art der Feilung abhängt. Die Größe und Form der Feilungspartikel bestimmt die Dauer der Anwesenheit von freiem Quecksilber und damit den Verflüchtigungsgrad von Quecksilber. Amalgame mit kugelförmiger Feilung geben am wenigsten Quecksilber ab, gefolgt von Dispersalloy^R.

2.1.2.2.3. Bei Überschichtung mit Speichel

Einige Autoren weisen darauf hin, daß Untersuchungen an trockenen Amalgamfüllungen nicht den Mundhöhlenbedingungen entsprechen, da innerhalb der Mundhöhle ein Speichelfilm über den Füllungen liegt (MAYER 1975, KÜHL 1966 a, 1966 b, 1963, SOUDER et al. 1931). Hinzu kommt, daß die meisten Menschen durch die Nase atmen, wodurch der eingeatmete Luftstrom nicht über die Amalgamoberfläche streift (KÜHL 1963). Somit kann bei

Atmung durch die Nase kein Quecksilberdampf in den Alveolen zur Resorption gelangen.

SOUDER et al. (1931) sind der Auffassung, daß eine Quecksilberdampfabgabe im Mund aus Amalgamfüllungen nicht vorkommt, sobald ein Speichelfilm über der Füllung liegt.

Auch KÜHL (1963) konnte atomabsorptionsspektrographisch nach Überschichten mit einem Speichelfilm über Silber-Zinn-Amalgam keinen Quecksilberdampf mehr feststellen. Der Effekt des Speichels auf die Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen wird von FRYKHOLM (1957) bestätigt. Nach Schließen des Mundes nach Beendigung der Behandlung, wenn die Füllungen mit Speichel bedeckt sind, sinkt die Quecksilberdampfkonzentration der ausgeatmeten Luft auf Werte, die denen vor der Behandlung entsprechen.

2.1.2.3. Berechnung der maximalen Quecksilberbelastung durch Quecksilberdampfabgabe

Während der Behandlungsphase wurden Quecksilberdampfkonzentrationen gemessen, die höher als 1 mg/m^3 Luft liegen (MAYER 1975). Diese Exposition stellt jedoch eine kurzfristige Belastung dar. FRYKHOLM (1957) vertritt die Meinung, daß in Anbetracht der kurzen Behandlungszeit maximal 0,1 mg Quecksilber inhaliert werden kann.

KÜHL (1963) stellt Überlegungen über eine mögliche Intoxikationsgefahr durch eine ständige Quecksilberdampf-abgabe aus Silberamalgamfüllungen an. Er geht von den ungünstigsten Bedingungen aus: trockene Amalgamoberfläche, keine Berücksichtigung der Nasenatmung,

Annahme von 20 Füllungen in einer Mundhöhle. Wenn man den von KÜHL (1963) ermittelten Wert zugrunde legt - trockene Silberamalgamfüllungen mit einer freien Oberfläche von 90 mm^2 geben bei 37°C bis zu $0,005 \text{ mg}$ Quecksilber pro Tag ab - kann die Quecksilberbelastung bei der sehr großen Zahl von 20 Füllungen mit $0,1 \text{ mg}$ Quecksilber pro Tag angegeben werden. KÜHL (1963) stellt diesem Wert die mögliche Quecksilberaufnahme bei einer achtstündigen Exposition einer Luft-Quecksilberkonzentration von $0,1 \text{ mg/m}^3$ (entspricht dem in der Bundesrepublik Deutschland gültigen MAK-Wert) gegenüber. Bei einem Atemvolumen innerhalb von acht Stunden von 6 bis 10 m^3 Luft bei leichter Arbeit, beträgt die Quecksilberaufnahme über die Lungen 1 mg pro Tag. Dieser maximal zulässige Wert liegt noch eine Zehnerpotenz höher als die tägliche Quecksilberbelastung durch 20 trockene Amalgamfüllungen. Außerdem, so KÜHL (1963), sind die Füllungen im Mund mit Speichel überzogen, wodurch die Quecksilberdampfabgabe zum Erliegen kommt.

Eine Intoxikationsgefahr durch Abgabe von Quecksilberdampf aus Silberamalgamfüllungen könne somit ausgeschlossen werden.

- 2.1.3. Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen durch elektrochemische Korrosion
- 2.1.3.1. Bestandteile des Amalgams, die der Korrosion unterliegen

Unter Metallkorrosion versteht man eine von außen einwirkende chemische und elektrochemische Zerstörung von Metallen und Metallegierungen (SPRENG 1963 b). Die elektrochemische Korrosion durch Ausbildung kleiner galvanischer Elemente ist für die Korrosion von Metallen hauptsächlich verantwortlich (CHRISTEN 1977, SPRENG 1963 b). Das unedlere Metall löst sich während der Korrosion auf, es geht in Ionenform in Lösung (CHRISTEN 1977).

Von den Metallen, die das Silberamalgam bilden, ist Zinn die unedelste Komponente. Zinn liegt in freier Form oder als Gamma-2-Phase (Sn_7Hg) vor. Somit wird die Gamma-2-Phase, der Zinn-Quecksilber-Mischkristall, zum unedelsten Teil des Kristallgefüges und wird bei der Korrosion angegriffen (WAGNER 1962). Dabei geht Zinn in Lösung (SPRENG 1963 a, b, MARXKORS 1970 a). Quecksilber reichert sich in der Korrosionszone an; damit besteht die Möglichkeit der Quecksilberionenabgabe. Daß die Gamma-2-Phase der am leichtesten zerstörbare Anteil des Amalgams ist, bestätigen auch die Ergebnisse von MOCKE (1971). Er wies nach, daß die Einwanderung von Amalgambestandteilen in die Zahnhartsubstanz in erster Linie aus der Gamma-2-Phase und nur wenig aus der Gamma-1-Phase (Ag_3Hg_4) erfolgt.

Je größer der Anteil des Zinn-Quecksilber-Mischkristalls

am Amalgam ist, desto stärker ist die Korrosion und damit die Gefahr der Quecksilberabgabe (WANNEN-MACHER 1929).

2.1.3.2. Bedingungen für elektrochemische Korrosion von Amalgam in der Mundhöhle

Das Zahnfüllmaterial Silberamalgam unterliegt in der Mundhöhle der elektrochemischen Korrosion, wenn eine der folgenden Voraussetzungen gegeben ist:

- direkter Kontakt einer Amalgamfüllung mit einem edleren Metall (z.B. Gold)
- direkter Kontakt zweier Amalgamfüllungen unterschiedlicher Zusammensetzung
- Kontakt einer Amalgamfüllung mit zwei verschiedenen Elektrolytlösungen
- Lokalelementbildung

2.1.3.2.1. Direkter Kontakt einer Amalgamfüllung mit einem edleren Metall

"Metallisch kurzgeschlossene Elemente, gebildet aus zwei im Mund befindlichen hinreichend ungleich edlen Metallen, liefern Strom und führen daher zur Korrosion, damit zur Abgabe von Legierungsbestandteilen an den tragenden Körper. Metallisch kurzgeschlossen heißt, daß die zwei ungleichen Metallen unmittelbar metallischen

Kontakt haben. (...) Metallisch nicht geschlossene Elemente ... liefern keinen Strom und unterliegen nicht der elektrochemischen Korrosion, die durch die Gegenwart des zweiten Metalles zustande kommt. ... es spalten sich keine Ionen ab." (REBEL 1955).

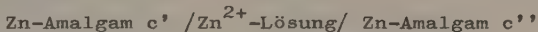
Zwei in der Zahnheilkunde gebrauchte, in der Spannungsreihe weit auseinanderstehende, ungleich edle Zahnfüllungsmaterialien sind Gold und Amalgam. Silberamalgam ist gegenüber Gold unedler, sein Ruhepotential wird von seiner unedelsten Komponente, dem Zinn bestimmt (MARXKORS 1970 a). Bei direktem Kontakt einer Amalgamfüllung mit einem Goldinlay, einer Goldkrone oder mit Gold-Platin-Verbindungen, unterliegt das Amalgam als unedleres Füllungsmaterial einer besonders starken Korrosion (TILL und MALY 1978, TILL und WAGNER 1973, STRASSBURG et al. 1967, SPRENG 1963 b, REBEL 1955, WANNENMACHER 1929). Zinn geht in Lösung, Quecksilber reichert sich an und kann abgegeben werden.

Die Untersuchungen von TILL und MALY (1978) zeigen höchste Quecksilberwerte in den Zahnwurzeln amalgamgefüllter Zähne, die in direktem Kontakt mit einer Goldfüllung standen.

Während REBEL (1955) der Meinung ist, daß ein Metall nur bei direktem metallischem Kontakt mit einem edleren Metall korrodieren kann, weisen TILL und MALY (1978) darauf hin, daß sich auch schon die Nachbarschaft von Amalgam zu Goldfüllungen in erhöhten Quecksilberwerten der Zahnwurzel ausdrückt, die jedoch nicht so hoch liegen, wie bei Zähnen, deren Amalgamfüllungen direkten Kontakt zu Goldfüllungen haben. Der Stromfluß dieses galvanischen Elementes erfolgt über Zahn, Kieferknochen und dazwischenliegendem Gewebe (TILL und WAGNER 1973).

2.1.3.2.2. Direkter Kontakt zweier Amalgamfüllungen unterschiedlicher Zusammensetzung

Zwei Amalgame unterschiedlicher Zusammensetzung verhalten sich elektrochemisch different. Auch kurzgeschlossene Metalle gleicher Art aber unterschiedlicher Konzentration liefern Strom. Dies zeigen Amalgamketten, deren elektromotorisch wirksamer Stoff in beiden Elektroden unterschiedliche Konzentration besitzt:



(JOST et al. 1973).

Nach STRASSBURG et al. (1967) kann bei Kontakt von unterschiedlich strukturierten und zusammengesetzten Amalgamfüllungen mit Speichel als elektrolytischem Mittler Quecksilber abgegeben werden. Auch SPRENG (1963 b) gibt als eine Möglichkeit der Korrosion den "gegenseitigen Kontakt von Amalgamen, die strukturell und in der Zusammensetzung ungleich sind" an.

2.1.3.2.3. Kontakt einer Amalgamfüllung mit zwei verschiedenen Elektrolytlösungen

TILL und MALY (1978) konnten innerhalb einer einzigen Füllung schwache Ströme messen. Ein Metall kann korrodieren, ein geschlossenes Element bilden, wenn es unmittelbaren Kontakt zu zwei verschiedenen zusammengesetzten Elektrolytflüssigkeiten hat. Das Element wird aus dem Metall und zwei unterschiedlich zusammenge-

setzten Elektrolytlösungen gebildet (Speichel und Gewebsflüssigkeit). Es handelt sich hier um ein Konzentrationselement- (REBEL 1955).

2.1.3.2.4. Lokalelementbildung

Schließlich kann es durch Lokalelementbildung zur Ausbildung galvanischer Elemente kommen. Lokalelemente entstehen besonders bei unedlen Metallen, deren Oberfläche punktuell mit einem edleren Metall verunreinigt ist. Selbst eine nicht einheitliche Oberflächenbeschaffenheit eines Metallstückes kann Lokalelemente erzeugen (CHRISTEN 1977). Deswegen können bei Metallen und Metallegierungen, die verschieden zusammengesetzte Kristallarten aufweisen -wie es bei Silberamalgamen der Fall ist-, diese Unterschiede in der Kristallzusammensetzung, der Kristallgröße und der inneren Ordnung des Kristallgefüges zur Lokalelementbildung und damit zur Zerstörung des Metalles führen (JOST et al. 1973). Der heterogene Gefügebau kann selektive Korrosion bewirken (WAGNER 1962). TILL und WAGNER (1973) weisen auf Bildung von Lokalelementen durch Inhomogenitäten in der Amalgammischung hin.

2.1.3.3. Struktur der Korrosionszone

Eine strukturelle Untersuchung des korrodierten Abschnittes der Amalgamfüllung nahmen GASSER (1972 b) und RADICS (1966) vor. Wie oben erwähnt, wird Zinn durch Korrosion abgegeben, Quecksilber reichert sich in der Korrosionszone an. Damit besteht die Gefahr der Quecksilberabgabe an den Organismus. WAGNER (1962) und WANNENMACHER (1929) sind der Meinung, daß das während der Korrosion durch Abgabe von Zinn freige-wordene Quecksilber in den nicht angegriffenen Teil des Amalgams diffundiert und sich dort wieder an Ag_3Hg_4 (Gamma-1-Phase) und neue Zinn-Quecksilber-Mischkristalle umkristallisiert.

RADICS (1966) untersuchte die Korrosionszone der Amalgamfüllung mit der Elektronen-Röntgen-Mikrosonde. Diese arbeitet mit einem im Hochvakuum durch elektromagnetische Linsen gebündelten Elektronenstrahl, der abhängig von dem beschossenen Präparat ein für jedes Element charakteristisches Röntgenspektrum erzeugt. Diese Methode erlaubt eine qualitative und quantitative Bestimmung der in der Korrosionszone vorhandenen Metalle. RADICS (1966) fand, daß der Zinn- und Quecksilbergehalt alter Amalgamfüllungen gegen die korrodierte Randzone hin abnimmt, daß also die Korrosionszone arm an Quecksilber und Zinn ist. RADICS (1966) gibt die Tiefe der Korrosionszone mit 40μ an.

Folgt man der Vorstellung WAGNERS (1962) und WANNENMACHERS (1929), daß Quecksilber in den nicht angegriffenen Anteil des Amalgams diffundiert, wäre eine höhere Quecksilberkonzentration in tieferen Lagen zu erwarten.

RADICS (1966) konnte diese Auffassung widerlegen. Man

muß deshalb davon ausgehen, daß das Quecksilber der korrodierten Zone des Amalgams an den Organismus abgegeben wird.

2.1.3.4. Abhängigkeit von der Höhe des Quecksilber- und Silbergehaltes der Amalgamfüllung

Die Abhängigkeit der Korrosionsbereitschaft von der Höhe des Silber- und Quecksilbergehaltes der Amalgamfüllung wurde von MARXKORS (1970 a), WAGNER (1962), FISCHER (1961) und NADAL et al. (1961 a, b) untersucht.

Die Höhe des Silbergehaltes bestimmt den prozentualen Anteil der einzelnen Phasen am Gesamtkristallgefüge. Ein niedriger Silbergehalt führt zu einer mengenmäßig großen Gamma-2-Phase (Zinn-Quecksilber-Mischkristall). Vorhandenes Quecksilber kann nicht vollständig mit Silber zu Ag_3Hg_4 reagieren; damit steht überschüssiges Quecksilber für die Reaktion mit Zinn zur Verfügung: es entsteht eine große Gamma-2-Phase.

Der Zinn-Quecksilber-Mischkristall ist, wie oben dargestellt, die Phase, die der Korrosion unterliegt. Je größer also die Gamma-2-Phase ist, desto stärker verläuft auch die Korrosion.

MARXKORS (1970 a) fand, daß sich die Höhe des Quecksilbergehaltes nicht, die Höhe des Silbergehaltes der Silberamalgamfüllung stark auf den Umfang der gebildeten Gamma-2-Phase auswirkt. Je höher der Silbergehalt ist, desto niedriger ist der prozentuale Anteil der Gamma-2-Phase am Gesamtkristallgefüge.

(Tabelle 3/S. 45 zeigt die Abhängigkeit des prozentualen Anteils der Gamma-2-Phase am Gesamtkristallgefüge vom Quecksilber- und Silbergehalt der Amalgamfüllung)

WAGNER (1962) stellte fest, daß bei Verwendung von Feilungen mit 50% Silber die Menge der Gamma-2-Phase ungefähr dreimal größer ist als bei Feilungen mit 65 bis 70% Silber. Dieses Ergebnis wird durch die Beobachtung von NADAL et al. (1961 a, b) gestützt, die zeigte, daß ein hoher Quecksilbergehalt nicht mit dem Ausmaß und der Häufigkeit der Korrosion in Verbindung steht.

Experimentell konnte FISCHER (1961) die Auffassung bestätigen, daß ein hoher Silbergehalt die Gamma-2-Phase reduziert und damit das Amalgam weniger korrosionsanfällig macht. FISCHER (1961) untersuchte die physikalischen Eigenschaften von 50, 67 und 70% igen Legierungen. Er legte bei ein und demselben Patienten Amalgamfüllungen unterschiedlichen Silbergehaltes (gleiche orale Bedingungen). FISCHER (1961) fand, daß die Oberflächenveränderungen (Bildung von Bläschen und Randverlust) bei 50% igen Amalgamen stärker ausgeprägt waren als bei den höher prozentigen Amalgamen. 67 und 70% ige Silberamalgamfüllungen erwiesen sich als widerstandsfähiger.

2.1.3.5. Begünstigende Faktoren für elektrochemische Korrosion

Einen begünstigenden Faktor für eine nachfolgende Korrosion fanden STRASSBURG et al. (1965) in Wärmeeinwirkungen auf Amalgamfüllungen, z.B. bei Aufnahme

Tabelle 3

Der prozentuale Anteil der Gamma-2-Phase am Gesamtkristallgefüge in Abhängigkeit von dem Quecksilber- und Silbergehalt der Silberamalgamfüllungen.

(modifiziert nach MARXKORS 1970 a)

	Hg-arm	Hg-mittel	Hg-reich
Ag-reich	11,8 Vol %	13,6 Vol %	15,1 Vol %
Ag-arm	36,3 Vol %	36,0 Vol %	36,3 Vol %

heißer Speisen und heißer Getränke. Die Oberfläche des Amalgam wird dadurch aufgerauht. Diese Aufrauung stellt eine günstige Bedingung für eine nachfolgende Korrosion dar.

Ungenauae Füllungsrän der bewirken Sekretstauungen und Verfangen von Speiseresten. Die nachfolgende mikrobielle Besiedelung führt zu Säurebildung (SPRENG 1963 b). Saures Milieu verstärkt die Korrosion (BRDCKA 1973); die Zerstörung des Amalgams wird begünstigt.

Auch von der Behandlungsart der Silberamalgamfüllungen ist der Grad der Korrosion abhängig. So treten bei maschinenkondensierten Füllungen die Korrosionserscheinungen drei Monate früher in Erscheinung als bei Füllungen, die manuell in die Kavität gestopft wurden (FISCHER 1961).

Das Fehlen von Unterfüllungen läßt auch die dem Dentin zugekehrten Amalgamflächen korrodieren, da die Isolierung gegen austretende Gewebsflüssigkeit fehlt (FISCHER 1961).

2.1.3.6. Die Menge des durch Korrosion freigesetzten Quecksilbers

Aus den oben dargestellten Untersuchungsergebnissen von RADICS (1966) geht hervor, daß Quecksilber an den Organismus abgegeben wird. GASSER (1972 b) berechnete die Menge an freiwerdendem Quecksilber von zwei bis drei großen Amalgamfüllungen von ungefähr 100 mm^2 Oberfläche unter der Annahme einer 50 bis 90μ tiefen Korrosionszone. Er kam auf eine freigesetzte Quecksilbermenge

von 30 bis 40 mg. Bei einer Oberfläche von 800 mm^2 , wenn alle Molaren und Prämolaren mit Sattelfüllungen ausgestattet sind, beträgt die Quecksilbermenge 240 bis 560 mg; diese wird allerdings im Verlaufe von Jahren frei.

2.2. Der Quecksilbergehalt im Urin von Trägern alter und neuer Silberamalgamfüllungen

Die voranstehenden Kapitel untersuchten die Quecksilberverdampfung aus Silberamalgamfüllungen, die Löslichkeit von Quecksilber aus Silberamalgam im Speichel und die Quecksilberabgabe durch elektrochemische Korrosion. Es konnte gezeigt werden, daß, wenn auch in geringem Ausmaß, Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen freigesetzt wird. Erwägungen über eine mögliche systemische Toxizität des aus Silberamalgamen abgegebenen Quecksilbers sind nur dann sinnvoll, wenn man die Resorption, sei es als Quecksilberdampf oder in Ionenform, nachweisen kann. Wie oben angeführt, stellt der Quecksilberspiegel im Urin trotz einiger Einschränkungen ein gutes Maß für vorausgegangene Exposition und nachfolgende Resorption dar. Das Ausmaß der Resorption kann an der ausgeschiedenen Menge von Quecksilber im Urin beurteilt werden.

2.2.1. Quecksilberbelastung durch frisch gelegte Füllungen

FRYKHOLM (1957) untersuchte die zeitliche Abhängigkeit der Quecksilberausscheidung im Urin nach dem Legen frischer Amalgamfüllungen. Bei diesem Experiment wurden sieben Studenten zwischen zwei und fünf Silberamalgamfüllungen mit einem Gesamtgewicht von 2,1 bis 3,6 g und einer Oberfläche von 1,5 bis 2,8 cm² gelegt. Der größte Anstieg in der Urinausscheidung wurde in

den ersten zwei Wochen nach der Applikation gemessen. Kein Wert überschritt jedoch $20 \mu\text{g Hg/l}$ Urin. Verglichen mit den Meßwerten, die vor der Behandlung gemessen wurden -sie lagen zwischen 10 und $20 \mu\text{g/l}$ - konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden. Das bedeutet, daß der bei einigen Probanden registrierte Anstieg nicht auf die Applikation der Amalgamfüllungen zurückgeführt werden kann.

FRYKHOLM (1957) bestimmte Quecksilber im Urin mit der Dithizon-Extraktion nach Vesterberg und Sjöholm und anschließender Silbernitrat-titration. Die unterste Erfassungsgrenze dieser Nachweismethode liegt bei $3 \mu\text{g/l}$, die Meßgenauigkeit bei $\pm 3 \mu\text{g/l}$.

Dieses Ergebnis von FRYKHOLM (1957) wird durch die Untersuchungen von HOOVER et al. (1966) gestützt. Von 24 Probanden zeigten fünf (=21%) vor der Behandlung meßbare Mengen von Quecksilber im Urin: die Werte lagen zwischen 0 und $12 \mu\text{g/l}$. Nach der Behandlung stieg weder die Anzahl der Personen mit positiven Urinbefunden -sie lag zwischen 22 und 25% der untersuchten Probanden- noch ließ sich bei den Quecksilberausscheidern, verglichen mit den Ausgangswerten vor der Behandlung, ein erhöhter Quecksilberspiegel des Urins nachweisen. Der höchste gemessene Wert lag bei $19 \mu\text{g/l}$. (Tabelle 4/S. 50 zeigt die Untersuchungsergebnisse von HOOVER et al. (1966) im Überblick.)

Das bedeutet, daß Silberamalgame keine erhebliche Quelle erhöhter Quecksilberbelastung darstellen. HOOVER et al. (1966) verwendeten eine Nachweismethode, die sich der Dithizon-Extraktion bedient mit anschließender Erhitzung und Messung der entweichenden Quecksilberdämpfe mittels Atomabsorption im UV-Licht. Die Meßgenauigkeit und unterste Nachweisgrenze lag bei $0,5 \mu\text{g Hg/l}$ Urin.

Tabelle 4

Der Quecksilberspiegel des Urins vor und nach der Applikation von Silberamalgamfüllungen. 5/24 bedeutet, daß bei 5 von 24 Probanden Quecksilber im Urin nachgewiesen werden konnte. Die unterste Nachweisgrenze der Bestimmungsmethode lag bei 0,5 µg Hg/l Urin. (modifiziert nach HOOVER et al. 1966)

	nach der Behandlung				
	vor der Behandlung	1-6 std	1. Tag	2. Tag	3. Tag
positiver Hg-Nachweis	5/24	0/5	5/22	4/16	2/9
in Prozent	21	0	23	25	22
Hg-Menge des Urins in µg/l	0-12	0	0-19	0-7	0-12

SCHNEIDER (1976) kommt jedoch bei seinen Untersuchungen mit der flammenlosen Atomabsorption zu dem Ergebnis, daß die Behandlung eines Zahnes mit anschließender Füllung mit Silberamalgam zu einer erhöhten Urinexkretion führt. Bei einem Vergleichswert von $1,2 \mu\text{g}$ Quecksilber im Tagesurin bei Personen ohne frische Silberamalgamfüllungen konnte SCHNEIDER (1976) eine maximale durchschnittliche Quecksilberausscheidung von $8,8 \mu\text{g}$ Quecksilber im Tagesurin zwischen dem zweiten und fünften Tag nach der Behandlung messen. Der Höchstwert lag bei $31 \mu\text{g}/\text{Tagesurin}$. Die Gesamtausscheidung an Quecksilber über 30 Tage hinweg wird von SCHNEIDER (1976) im Mittel mit $30 \mu\text{g}$ Quecksilber bei einem Maximalwert von $85 \mu\text{g}$ Quecksilber angegeben. Im Hinblick auf die Quecksilberbelastung durch Silberamalgamfüllungen meint SCHNEIDER (1976), daß sie "... bei vorsichtiger Auswertung aller Resultate etwa im Bereich der Quecksilberaufnahme des Menschen durch die Nahrungsmittel oder darunter" liegt.

2.2.2. Dauerbelastung durch Silberamalgamfüllungen

SCHNEIDER (1976) stellte, was eine chronische Quecksilberbelastung durch Silberamalgamfüllungen angeht, bei seinen Untersuchungen mit der flammenlosen Atomabsorptionsspektrographie fest, daß selbst im ungünstigsten Fall keine signifikant erhöhte Quecksilberausscheidung im Urin jenseits des achten Tages nach der Behandlung zu registrieren war. Nach zehn Tagen haben sich die Urinbefunde normalisiert. SCHNEIDER (1976) fand keinen

Unterschied in der Höhe der Quecksilberausscheidung bei Patienten, die mindestens zwei Jahre alte Silberamalgamfüllungen hatten und bei Patienten, die noch keine Füllungen hatten. Eine chronische Quecksilberbelastung aus Silberamalgamfüllungen kann somit verneint werden.

HOOVER et al. (1966), GOLDWATER (1964) und JACOBS et al. (1964) konnten in ihren Untersuchungen nur bei 20 bis 25% einer Personengruppe ohne bekannte Quecksilberbelastung Quecksilber im Urin messen. Bei der Bestimmung des Quecksilbers im Urin lag in allen Experimenten die unterste Nachweisgrenze bei $0,5 \mu\text{g Hg/l}$. In Anbetracht der Tatsache, daß bei 20% der Normalpopulation meßbare Quecksilbermengen im Urin zu finden sind, kann von einer chronischen Quecksilberbelastung aus Silberamalgamfüllungen gesprochen werden, wenn in einer entsprechenden Versuchsgruppe der Anteil der Quecksilberausscheider über 20 bis 25% liegt. HOOVER et al. (1966) untersuchten den Urin von 114 Personen, die in den vergangenen drei Monaten keine Zahnbehandlung hatten, auf Quecksilber und konnten nur bei sechs Personen (entspricht weniger als 6%), unabhängig von der Anzahl der Füllungen, meßbare Mengen ermitteln. Der höchste Quecksilberspiegel lag bei $15 \mu\text{g Hg/l}$ Urin. Das bedeutet, daß Silberamalgamfüllungen, die länger als drei Monate liegen, den Quecksilbergehalt des Urins nicht beeinflussen.

FRYKHOLM (1957) stellte Untersuchungen mit radioaktiv markiertem Hg^{203} -Amalgam an. Durch Messung der Aktivität von Hg^{203} im Urin kann spezifisch die aus Amalgamfüllungen abgegebene Quecksilbermenge erfaßt werden. Die sonstige Umweltbelastung, die bei den Meßtechniken, die den gesamten Quecksilbergehalt im Urin messen, eine

Störgröße darstellt, kann ausgeschaltet werden.

FRYKHOLM (1957) konnte während der ersten Tage einen Anstieg mit einem Maximum von $2,5 \mu\text{g/l}$ am fünften Tag vermerken; danach erfolgte ein rascher Abfall bis $0 \mu\text{g/l}$. Bei der Entfernung des radioaktiv markierten Amalgams zeigte sich ein erneuter Anstieg bis $5 \mu\text{g/l}$. Insgesamt wurden also sehr niedrige Werte registriert.

Während der Behandlung ist die Möglichkeit gegeben, daß kleine Amalgambröckchen verschluckt werden. Um den Effekt verschluckten Amalgams auf die Quecksilberausscheidung im Urin zu ermitteln, ließ FRYKHOLM (1957) zwei Studenten ein $2,5$ bzw. $3,3$ g schweres Silberamalgamstück schlucken. Die Urinkonzentration stieg von weniger als $3 \mu\text{g/l}$ Ausgangswert (untere Erfassungsgrenze der benutzten Bestimmungsmethode) bei dem einen Probanden auf $20 \mu\text{g/l}$ und von $6 \mu\text{g}$ auf $18 \mu\text{g/l}$ bei dem anderen Probanden. Am 24. Tag nach dem Versuch waren die Werte wieder normalisiert.

Die neueste Untersuchung über den Quecksilbergehalt des Urins von Personen, die Silberamalgamfüllungen tragen, wurde von KRÖNCKE et al. (1980) angefertigt. Im Morgenharn wurde der Quecksilbergehalt von 44 Personen bestimmt, die keiner sonstigen Quecksilberbelastung ausgesetzt waren. Es zeigten sich keine Unterschiede in der Quecksilberkonzentration des Urins der Personengruppen mit und ohne Amalgamfüllungen. Die Werte lagen bei 19 Personen ohne Amalgamfüllung im Durchschnitt bei $1,54 \mu\text{g Hg/l}$ Urin, bei 25 Personen mit Amalgamfüllungen bei $1,66 \mu\text{g Hg/l}$. Der höchste gemessene Quecksilberspiegel im Urin wurde mit $14 \mu\text{g/l}$ angegeben. Bei diesen Untersuchungen lag die Nachweisgrenze bei $0,5 \mu\text{g Hg/l}$ Urin.

- 2.3. Krankheiterscheinungen, die auf die Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen zurückgeführt werden
- 2.3.1. Intoxikation und Allergie

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse über die Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen lassen die Feststellung zu:

Eine Quecksilberintoxikation durch Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen kann ausgeschlossen werden; bei eventuell auftretenden Krankheiterscheinungen müsste es sich vielmehr um allergische Reaktionsformen handeln.

Diese Meinung vertreten nahezu alle Autoren, die sich zum Problem der Intoxikation durch Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen geäußert haben (GASSER 1976, 1972 b, MARXKORS 1970 b, KÜHL 1966 a, b, 1963, SCHACH 1965, SPRENG 1963 a, b, OVERDIECK 1962, FISCHER 1961).

MARXKORS (1970 b) schreibt hierzu: "Die Mengen der Lösungsprodukte, die aus Amalgamfüllungen in Lösung gehen können, sind für eine chemisch toxische Wirkung zu gering. Sie reichen aber aus für eine allergische Wirkung."

KÜHL (1966 a) beantwortet die Frage nach einer Intoxikationsgefahr durch Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen folgendermaßen: "In Anbetracht der Tatsache, daß Silber-Zinn-Amalgamfüllungen über lange Zeit praktisch unverändert ihre äußere Form behalten, und die akut toxische Dosis der giftigsten Quecksilberverbindung, des Sublimats, bei 0,1 bis 0,2 g liegt, ist auch die Gefahr einer Intoxikation durch Quecksilberverbindungen, die Silber-Zinn-Amalgamfüllungen ent-

stammen, gering einzuschätzen ... Die Quecksilbermengen, die aus beiden Amalgamarten im Mund frei werden können, müssen als ausreichend betrachtet werden, um in seltenen Fällen Sensibilisierungen und allergische Manifestationen auszulösen."

Eine Reaktionsform im Sinn eines allergischen Geschehens ist auch für SPRENG (1963 a, b,) viel wahrscheinlicher. Es gäbe keine beweisenden Belege für Intoxikationen. Eine Quecksilbervergiftung verlangt größere Quecksilbermengen, als sie aus Silberamalgamfüllungen freigesetzt werden (OVERDIECK 1962).

SPRENG (1963 a) beschäftigte sich in seinem Buch 'Allergie und Zahnmedizin' ausführlich mit dem Problem der Allergisierung durch Silberamalgame. Sein Beobachtungsgut ist umfangreich. Er schließt Beschreibungen zahlreicher anderer Autoren ein. SPRENG (1963 a) kommt zu dem Schluß, daß alle bisher beschriebenen Krankheitsbilder -diejenigen, die von verschiedenen Autoren als Quecksilberintoxikation diagnostiziert wurden mit eingeschlossen- nicht als Vergiftung, sondern als allergische Reaktionen aufzufassen sind. Auch ausgehärtete Amalgamfüllungen sind hierbei als Gefahrenquelle anzusehen; von hier erfolgt auf dem Blutwege der Abtransport kleinster Quecksilbermengen, denen sensibilisierende Eigenschaften zukommen (OVERDIECK 1962).

Für MAYER (1975) ist die Frage, ob eine permanente Belastung durch Quecksilber aus Amalgamfüllungen oder eine kurzzeitige hohe Quecksilberdampfkonzentration (z.B. während der Behandlungsphase) eine Gesundheitsgefährdung des Patienten bedeuten kann, zum heutigen Zeitpunkt nicht eindeutig beantwortbar.

BABENDERERDE et al. (1970) meinen sogar, daß eine Sen-

sibilisierung durch Quecksilber aus Amalgamfüllungen unwahrscheinlich sei, da die aus Amalgamfüllungen freigesetzte Menge geringer sei, als die täglich mit der Nahrung aufgenommene. Eine Bedeutung für eine Sensibilisierung sollte so eher dem der Nahrung entstammenden Quecksilber zukommen.

GASSER (1976, 1972 b) und SPRENG (1963 a) fordern jedoch unbedingt die pathogenetische Möglichkeit der Sensibilisierung und der allergischen Reaktion durch Amalgam.

Einigkeit herrscht darüber, daß die Häufigkeit, in der allergische Erscheinungen, ausgelöst durch Amalgamfüllungen, auftreten, im Vergleich zu der Anzahl von Amalgamfüllungen, die täglich insgesamt gelegt werden, sehr gering ist (GASSER 1972 b, MARXKORS 1970 b, THOMSON 1970, STRASSBURG et al. 1967, KÜHL 1966 a).

2.3.2. Pathogenese der Amalgamallergie

Wenn man allergische Erscheinungen und Sensibilisierungen durch Amalgame annimmt, muß eine Resorption von Metallionen erfolgen (SPRENG 1963 a). Da Metallionen Haptene sind, müssen diese eiweißfreien Körper an art-eigenes Eiweiß gekoppelt werden, um Allergencharakter zu bekommen (MARXKORS 1970 b, SPRENG 1963 a). Ist eine Sensibilisierung erst einmal erfolgt, kann das Hapten von sich aus allergische Manifestationen hervorrufen (MARXKORS 1970 b). So kann bei erfolgter Sensibilisierung durch Quecksilber jeder Kontakt mit diesem

Metall, auch mit Amalgamen, zu allergischen Reaktionen führen (SPRENG 1963 a).

Das Bild einer allergischen Erkrankung ist individuell verschieden und ist als individuelle Reaktion auf ein Allergen -unabhängig von der als Allergen wirkenden Substanz- aufzufassen (SPRENG 1963 a). Die klinischen Bilder variieren deswegen sehr stark.

Allergene können am Ort der Resorption Symptome hervorrufen, oder aber als Fernwirkung auch andere Organe in Mitleidenschaft ziehen. Entweder kann die Aufnahmestelle Schockorgan sein, oder das allergische Geschehen manifestiert sich an anderen Organen. Bei bestehender Quecksilberallergie, ausgelöst durch Amalgamfüllungen, bleibt die Mundschleimhaut als Eintrittspforte oft frei von Erscheinungen. Haut und andere Schleimhäute werden Schockorgan (SPRENG 1963 a) und Träger des allergischen Geschehens. Quecksilbersensibilisierungen können von Amalgamen unterhalten werden. So konnte SPRENG (1963 a) bei vom Mund ausgehenden Allergien keine Heilung ohne Ausschaltung der Ursache, ohne Entfernung der Silberamalgamfüllungen, beobachten. Zwischenzeitliche Symptombefreiheit kann auch bei Verbleib der Füllungen im Mund eintreten.

2.3.3. Klinik der Amalgamallergie

Entsprechend der individuellen Reaktionsweise auf Allergene sind die allergischen Krankheitserscheinungen sehr verschieden. So sind Hauterkrankungen in Form verschiedener Effloreszenzen, auf den Mund beschränkt oder

fernab vom Herd gelegen, sowie generalisierte oder lokal begrenzte allergische Erscheinungen beschrieben. Schwellungen, Ödeme, Entzündungen, vegetative Beschwerden, rheumatische Krankheitsbilder, psychische Labilität wurden beobachtet. BAASCH (1966) sieht sogar einen Zusammenhang zwischen der Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen und der multiplen Sklerose als neuroallergischer Erkrankung.

Hauterscheinungen können als Urticaria-ähnliche Effloreszenzen imponieren (THOMSON et al. 1970, OVERDIECK 1962), sich als blasig nässende (THOMSON et al. 1970) oder als Rosazea-ähnliche Eruptionen darstellen (FRYKHOLM 1957). Eine rezidivierende Impetigo des Gesichtes wurde von FRYKHOLM (1957) beobachtet. Sonst erwähnte Ekzeme waren nicht näher beschrieben.

Die Effloreszenzen können in der Mundhöhle, am Einwirkungsort des Allergens -hier allerdings äußerst selten (SPRENG 1963 a)- entstehen (OVERDIECK 1962, FRYKHOLM 1957), sich um den Mund und auf das Gesicht ausbreiten (GASSER 1976, THOMSON et al. 1970, STRASSBURG et al. 1967, ENGELMANN 1963, FRYKHOLM 1957, ROBINSON et al. 1949) und auch die Luft- und Speiseröhre mit einbeziehen (Urticaria-ähnliche Effloreszenzen, dargestellt von OVERDIECK 1962). Fernab vom Herd sind allergische Erscheinungen der Haut an Schulter (ENGELMANN 1963), Rumpf (THOMSON et al. 1970, OVERDIECK 1962, FRYKHOLM 1957) beschrieben.

Allergische Manifestationen, ausgelöst durch Quecksilber aus Amalgamfüllungen können lokal begrenzt und generalisiert und nicht nur die Haut betreffend auftreten. FRYKHOLM (1957) beschrieb eine auf das Gesicht begrenzte rezidivierende Impetigo. ROBINSON et al. (1949)

führten zwei Fälle von Kontakt-Dermatitis an, die auf die Mundgegend, das Gesicht und den Hals beschränkt waren. Die allergischen Hauterscheinungen können aber auch generalisiert den gesamten Körper befallen (THOMSON 1970, ENGELMANN 1963, FRYKHOLM 1957).

Beidseitige rezidivierende ödemartige, stark juckende Gesichtsschwellungen unter Mitbeteiligung der Augenlider führten STRASSBURG et al. (1967) am. Auf Schwellungen der Fingergelenke wies FRYKHOLM (1957) hin. Kopfschmerzen, Entzündungen wie Bronchitis, Stomatitis, enteritische Beschwerden und Diarrhoe gehören mit zu den allergischen Manifestationen (FRYKHOLM 1957).

GASSER (1972 b) führte vegetative Beschwerden mit Schlafstörungen, Migräneanfälle, Schwindelgefühl, rheumatische Bilder, Heiserkeit, Herzschmerzen und psychische Labilität an.

Die Diagnose der Quecksilberallergie wird hauptsächlich durch Epicutantestung gestellt (THOMSON 1970, STRASSBURG et al. 1967, ENGELMANN 1963, FRYKHOLM 1957, ROBINSON et al. 1949). GASSER (1976, 1972 b) bedient sich der Elektroakupunkturmethode nach Voll.

Eine merkliche Besserung des Gesundheitszustandes und Beseitigung der Beschwerden ist erst nach Entfernung der das allergische Geschehen unterhaltenden Silberamalgamfüllungen zu beobachten (GASSER 1972 b, STRASSBURG et al. 1967, SPRENG 1963 a).

2.3.3.1. Beispiele klinischen Verlaufs

Einige Berichte über mögliche Quecksilberallergie, hervorgerufen durch Silberamalgamfüllungen, seien angeführt.

GASSER (1976) berichtet über drei eigene Beobachtungen, wobei er die Diagnose Amalgamallergie mit Hilfe der Elektroakupunktur nach Voll stellte. Die Symptome waren Zungenbrennen, Ekzem am Kinn (aufgetreten 14 Tage nach der Applikation von Amalgamfüllungen), ständige Zahnschmerzen, Nachziehen des linken Beines. Die Amalgamfüllungen wurden entfernt und durch andere Füllmaterialien ersetzt. Seit diesem Eingriff war ein Rückgang der subjektiven Beschwerden wie Zungenbrennen, Unbehagen im Mund, Zahnschmerzen und der objektiven Erkrankungszeichen wie Ekzem des Kinns, Nachziehen des linken Beines bis zur völligen Beschwerdefreiheit nach einem Monat bzw. nach drei Jahren festzustellen. Eine Patientin unterzog sich noch einer desensibilisierenden Behandlung.

STRASSBURG et al. (1967) berichteten über eine Patientin mit beidseitigen rezidivierenden ödemartigen, stark juckenden Gesichtsschwellungen mit Beteiligung der Augenlider und vermehrtem Speichelfluß. Hier konnten jahrelang im Mund befindliche Amalgamfüllungen allergische Manifestationen unterhalten. Nach Entfernung der Amalgamfüllungen stellte sich ein therapeutischer Erfolg ein. Eine spätere zufällige Exposition mit Saatgut, das mit organischen Quecksilberverbindungen gebeizt war, führte zu einem allergischen Geschehen, was für eine bestehende Quecksilberallergie sprach. Epicutantestungen zeigten Überempfindlichkeiten gegenüber altem Amalgam, Kupfer und Nickel.

FRYKHOLM (1957) berichtete über einen Patienten, der nach jeder weiteren zahnärztlichen Behandlung mit Silberamalgam eine progressive Symptomatik der allergischen Erscheinungen zeigte. Ausgehend von kleinen Bläschen und einem Gefühl der Strenge in den Mundwinkeln entwickelten sich nach späteren Behandlungen Bläschen und eine intensive Rötung an der Unterlippe und am Kinn, was sich dann über das gesamte Gesicht ausbreitete. Daneben bestand noch eine juckende Rötung der Axilla und im Bereich der Rippen.

2.3.4. Nicht allergische Erkrankungen

Neben diesen auf allergischer Grundlage basierenden Krankheitserscheinungen weisen einige Autoren auch auf nicht allergische gesundheitliche Auswirkungen der Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen hin.

TILL (1978) bringt die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen mit Parodontose in Verbindung. Quecksilber, so TILL (1978), stört den Stoffwechsel des Parodonts. Die ~~erg~~giftende Wirkung des Speichels wird herabgesetzt und die Keimzusammensetzung der Mundflora bei Anwesenheit von Quecksilberionen geändert. Es herrschen Quecksilber-unempfindliche, stärker pathogen wirksame Keim-mischungen vor, was zu Zahnfleischaffektionen und später zu Knochenabbauerscheinungen führt. Neben Quecksilber sind auch noch endogene Ursachen für Parodontose verantwortlich.

KÖNIG (1979) widerspricht der Auffassung TILLs (1978) über die Ursachen der Parodontose sehr scharf mit dem

Hinweis darauf, daß zwar die Anwesenheit von Quecksilber zu einer Selektion innerhalb der Plaqueflora führen könne, daß aber jeder Nachweis ausgeblieben sei, wonach bestimmte Bakterienarten in höherem Maße als andere Parodontose bedingen. Parodontose kann nicht durch Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen hervorgerufen werden, alleinige Ursache sei die Bakterienplaque an sich (KÖNIG 1979).

SPRENG (1963 b) weist auf die Möglichkeit hin, daß herausgelöste Metallionen mit Säuren des Speichels Schwermetallsalze bilden können, die ätzend und entzündungserregend auf die Mundschleimhaut wirken.

Die Untersuchungen von NAUJOKS et al. (1963) ergaben, daß Silberamalgam die Glykolyse im Speichel (gemessen an der Sauerstoffaufnahme) hemmt, was den Abbau kohlenhydratreicher Nahrungsreste verlangsamt; dies könnte die Möglichkeit verstärkten Kariesbefalles in sich schließen.

2.4. Diskussion

Klinischer Befund, Urinalanalysen und in-vitro-Versuche ergänzen sich gegenseitig und erlauben die Feststellung, daß eine Quecksilberintoxikation durch Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen nicht zu erwarten ist.

Während der Behandlungsphase werden Quecksilberdampfkonzentrationen gemessen, die höher als 1 mg/m^3 liegen. Diese Exposition stellt jedoch eine kurzfristige Belastung dar. FRYKHOLM (1957) meint, daß in Anbetracht der kurzen Behandlungszeit maximal $0,1 \text{ mg}$ Quecksilber inhaliert werden kann. Die Quecksilberdampf-abgabe nach Beendigung der Behandlung beträgt in trockenem Zustand der Silberamalgamfüllungen maximal $0,01 \text{ mg/m}^3$ bei einer Oberfläche von 400 mm^2 (MAYER 1975). Andere Autoren sind der Meinung, daß die Quecksilberabgabe in der Dampfform nach wenigen Tagen erlischt. Einigkeit herrscht darüber, daß bei Speichelbenetzung die Quecksilberverflüchtigung zum Erliegen kommt. Untersuchungen zeigen, daß nur aus frisch gelegten Füllungen Quecksilber an den Speichel abgegeben werden kann. Die Quecksilberabgabe ist zeitlich begrenzt, die Menge des in den Speichel in Lösung gehenden Quecksilbers geht bei in-vitro-Untersuchungen spätestens am zehnten Tag nach dem Legen der Silberamalgamfüllung auf nahezu Null zurück. Die absolute Menge aufgenommenen Quecksilbers aus Amalgam wird von den Untersuchern, die eine Löslichkeit von Quecksilber im Speichel nachweisen konnten, unterhalb der angegeben, die täglich mit der Nahrung aufgenommen wird. MAYER (1976) weist darauf hin, daß die nach dem zehnten Tag abgegebene Menge

von weniger als $0,3 \times 10^{-7}$ g Quecksilber geringer sei als die Quecksilberbelastung durch den Genuß bestimmter Fische. SCHNEIDER (1976) schließlich resümiert, daß die Quecksilberbelastung durch Silberamalgamfüllungen, gemessen anhand der Speichelanalysen etwa im Bereich der Quecksilberaufnahme durch die Nahrung oder darunter liegt. Die Untersuchungen von WAGNER et al. (1973) weisen darauf hin, daß bei mechanischer Beanspruchung der Amalgamfüllungen, wie sie während des Kauvorganges in vivo vorkommt, mit einer höheren Quecksilberabgabe gerechnet werden muß, als unter Bedingungen, die diesen Einfluß nicht berücksichtigen.

Innerhalb der ersten zehn Tage nach dem Legen frischer Silberamalgamfüllungen ist eine leicht erhöhte Quecksilberbelastung in Erwägung zu ziehen. Sie deutet sich in gegenüber dem Ausgangswert erhöhten Quecksilberkonzentrationen des Urins an. Diese gesteigerte Ausscheidung dürfte auf eine verstärkte Quecksilberexposition während der Behandlungsphase und auf eine erhöhte Löslichkeit von Quecksilber aus frischen Silberamalgamfüllungen im Speichel zurückzuführen sein.

SCHNEIDER (1976) konnte beobachten, daß sich die Quecksilberausscheidung im Urin zehn Tage nach der Applikation frischer Amalgamfüllungen wieder normalisiert hat. Die Quecksilbergesamtexkretion über den Urin in einem Zeitraum von 30 Tagen betrug im Mittel $30 \mu\text{g}$ bei einem Maximalwert von $85 \mu\text{g}$ Quecksilber. HOOVER et al. (1966) und FRYKHOLM (1957) konnten nach Applikation frischer Amalgamfüllungen keine signifikante Erhöhung der Quecksilberausscheidung im Urin messen. Nach zehn Tagen ist die Löslichkeit im Speichel auf nahezu Null zurückgegangen. In diesem Zeitraum hat sich die in den ersten

Tagen registrierbare erhöhte Quecksilberausscheidung im Urin wieder normalisiert. Eine dauerhafte Quecksilberausscheidung im Urin durch Abgabe von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen wurde von keinem Autor gefunden.

Von diesen Befunden ausgehend, ist eine Gefährdung für Träger von Silberamalgamfüllungen nicht zu erwarten.

Betrachtet man die maximal im Speichel in Lösung gegangene Menge von 50 bis 60 μg Quecksilber und die während der Behandlungsphase inhalierte Menge von maximal 0,1 mg, insgesamt also eine Aufnahme von 160 μg Quecksilber innerhalb der ersten zehn Tage nach Applikation, so liegt diese Menge im Bereich der von MOESCHLIN (1972) und WIRTH et al. (1971) angegebenen, über die Nahrung aufgenommenen Quecksilbermenge von täglich 5 bis 20 μg , innerhalb von zehn Tagen also von 50 bis 200 μg Quecksilber.

Die aus Silberamalgamfüllungen innerhalb der ersten zehn Tage freiwerdende Quecksilbermenge ist also durchaus mit den über die Nahrung aufgenommenen Konzentrationen vergleichbar.

Über eine erhöhte Quecksilberexkretion im Urin wird ein Teil der zusätzlichen Quecksilberbelastung ausgeglichen. Die innerhalb der ersten 30 Tage gemessene Gesamtexkretion von 30 μg kann allerdings als unbedenklich gelten, zumal als Normalkonzentration von Quecksilber im Urin ein Wert bis 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ gilt.

Für die ersten zehn Tage nach Applikation einer Silberamalgamfüllung gilt also:

Die erhöhte Quecksilberbelastung ist zurückzuführen

auf die Quecksilberdampf-Inhalation während der Behandlungsphase und die erhöhte Löslichkeit von Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen im Speichel. Die während der ersten zehn Tage freigesetzte und an den Körper abgegebene Quecksilbermenge ist vergleichbar mit den in diesem Zeitraum über die Nahrung aufgenommenen Konzentrationen.

Der Quecksilbergehalt des Urins überschreitet in dieser Zeit den als obere Normgrenze angegebenen Wert von 15 bis 20 $\mu\text{g/l}$ nicht. Nach zehn Tagen liegen die Quecksilberkonzentrationen des Urins wieder im Bereich des Ausgangswertes.

Daraus läßt sich schließen, daß mit keiner gesundheitlichen Gefährdung durch Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen zu rechnen ist.

Quecksilber wird aus Silberamalgamfüllungen durch elektrochemische Korrosion freigesetzt. Korrosionsanfällig ist die Gamma-2-Phase, deren prozentualer Anteil am Gesamtkristallgefüge vom Silbergehalt des Amalgams abhängt. Korrosion tritt nicht nur bei direktem Kontakt von Amalgamfüllungen mit Goldfüllungen auf. Galvanische Elemente bilden sich auch bei Kontakt zweier unterschiedlich zusammengesetzter Amalgamfüllungen, bei Kontakt einer einzelnen Füllung mit zwei unterschiedlichen Elektrolytlösungen und bei Lokalelementbildung aus. Das Ausmaß der durch Korrosion freigesetzten Menge an Quecksilber ist abhängig von der Größe der Gamma-2-Phase.

Die durch elektrochemische Korrosion freigesetzte Quecksilbermenge stellt möglicherweise eine Dauerbelastung dar. Korrosionsbedingt wird die relativ große

Menge von 30 mg bei einer Oberfläche der Amalgamfüllungen von insgesamt 100 mm^2 bis zu 560 mg bei 800 mm^2 Oberfläche im Verlaufe von Jahren frei.

Einen Niederschlag in einer erhöhten Quecksilberkonzentration des Urins scheint diese langfristige Belastung jedoch nicht zu finden. Zehn Tage nach der Applikation von Silberamalgamfüllungen ist keine statistisch signifikante Erhöhung der Quecksilber-Urinxekretion zu messen. Schwankungen des Quecksilberspiegels des Urins sind nach diesem Zeitpunkt nicht auf applizierte Silberamalgamfüllungen zurückzuführen.

Im Einklang mit diesen meßtechnischen Befunden stehen die klinischen Beobachtungen. Alle Autoren, die sich zu dem Problem der Quecksilberintoxikation durch Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen geäußert haben, sind der Meinung, daß der klinische Aspekt von Erkrankungen, die auf die Quecksilberabgabe zurückgeführt wurden, nicht auf eine Intoxikation, sondern auf ein allergisches Geschehen hindeutet. Die allergische Genese konnte durch Epicutantestung und mit Hilfe der Elektroakupunktur nach Voll bestätigt werden. Die Klinik der Quecksilberallergie variiert individuell sehr stark; sie zeigt sich in Hautaffektionen, in Entzündungen innerer Organe, Schwellungen, Ödemen, vegetativen Beschwerden, rheumatischen Krankheitsbildern und psychischer Beeinträchtigung.

Auf den von Autoren erwähnten Zusammenhang zwischen Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen und der multiplen Sklerose, der Parodontose und verstärkter Kariesanfälligkeit wurde hingewiesen.

Eine Beseitigung der auf die Quecksilberabgabe zurückgeführten Krankheitserscheinungen konnte nur

erreicht werden, wenn die Silberamalgamfüllungen entfernt wurden.

Abschließend kann festgestellt werden, daß nach den in der Literatur gefundenen Untersuchungsergebnissen gegen die Verwendung von Silberamalgam in der Zahnheilkunde keine statistisch zu sichernden Argumente angeführt werden können. Klinischer Befund, Urinalanalysen und in-vitro-Versuche ergänzen sich gegenseitig und zeigen, daß eine Quecksilberintoxikation durch Quecksilberabgabe aus Silberamalgamfüllungen nicht zu erwarten ist. Die selten auftretenden Quecksilberallergien sind zu beachten. Gegebenenfalls müssen die Silberamalgamfüllungen durch andere Materialien ersetzt werden.

2.5. Zusammenfassung

1. In-vitro-Versuche zeigen, daß Quecksilber aus Silberamalgamfüllungen im Speichel löslich ist.

Die Menge des in Lösung gehenden Quecksilbers geht spätestens nach zehn Tagen auf nahezu Null zurück; sie beträgt zu diesem Zeitpunkt weniger als $0,3 \times 10^{-7}$ g Quecksilber pro Tag.

SCHNEIDER (1976) schätzt die insgesamt in Lösung gegangene Menge für eine 1,9 g schwere Silberamalgamfüllung auf maximal 50 bis 60 µg Quecksilber.

2. Während der Behandlungsphase werden innerhalb der Mundhöhle Quecksilberdampfkonzentrationen gemessen, die höher als 1 mg/m^3 Luft liegen. Die Quecksilberexposition während der Behandlung bedeutet jedoch nur eine kurzfristige Belastung. In Anbetracht der kurzen Behandlungszeit kann einmalig maximal 0,1 mg Quecksilber inhaliert werden (FRYKHOLM 1957).

3. Nur aus trockenen Silberamalgamfüllungen wird Quecksilberdampf abgegeben. Aus speichelbedeckten Füllungen, ein Zustand, wie er natürlicherweise in der Mundhöhle vorkommt, entweicht kein Quecksilberdampf.

Unter Annahme der ungünstigsten Bedingungen -20 Silberamalgamfüllungen mit trockener Oberfläche innerhalb einer Mundhöhle bei konsequenter Mundatmung - liegt die freiwerdende und eingeatmete Quecksilbermenge noch immer etwa eine Zehnerpotenz unterhalb der Menge, die in einem vergleichbaren Zeitraum bei Einhaltung der mit dem MAK-Wert gegebenen Bedingungen aufgenommen werden kann.

Unter Mundhöhlenbedingungen, wenn die Silberamalgamfüllungen speichelbenetzt sind, entweicht kein Quecksilberdampf.

4. Die bei elektrochemischer Korrosion freigegebene Quecksilbermenge liegt je nach Anzahl und Größe der Füllungen zwischen 30 mg bei zwei Silberamalgamfüllungen und 560 mg, wenn alle Molaren und Prämolaren mit Sattelfüllungen ausgestattet sind. Diese Menge wird im Verlaufe von Jahren freigesetzt.
5. Nach der Füllung einer Zahnkavität mit dem Zahnfüllmaterial Silberamalgam können nur innerhalb der ersten zehn Tage nach dem Zeitpunkt der Applikation gegenüber dem Ausgangswert erhöhte Quecksilberkonzentrationen im Urin gemessen werden. Diese Meßwerte liegen jedoch alle innerhalb des Bereiches der Normalpopulation und überschreiten den als obere Normgrenze angesehenen Wert von 15 bis 20 $\mu\text{g Hg/l}$ Urin nicht.
Nach zehn Tagen haben sich die im Urin gemessenen Quecksilberkonzentrationen normalisiert.
Die Quecksilbergesamtexkretion über den Urin beträgt für die ersten 30 Tage nach der Behandlung im Durchschnitt 30 μg (SCHNEIDER 1976).
6. Klinische Beobachtungen geben keinen Anhalt dafür, daß die Menge des aus Silberamalgamfüllungen abgegebenen Quecksilbers für eine Quecksilberintoxikation ausreichend ist.
Eine Intoxikation kann klinisch ausgeschlossen werden.

Vielmehr handelt es sich bei den auf die Quecksilberabgabe zurückgeführten Krankheitsbildern um allergische Geschehen.

Allergien gegen Quecksilber und Silberamalgam sind selten.

Literaturverzeichnis

ANDERSON, J.N.

Mercury in the amalgam restoration

Brit. Dent. J. 126, 313 (1969)

BAADER, E.

Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin

Urban und Schwarzenberg, Berlin-München-Wien (1961)

BAASCH, E.

Theoretische Überlegungen zur Ätiologie der Sklerosis
Multiplex. Die Multiple Sklerose eine Quecksilber-
allergie?

Schweiz. Arch. Neur. Psychiat. 98, 1 (1966)

BABENDERERDE, E., HELD, M., UNTERSPOHN, S.

Untersuchungen zur Diffusion des Quecksilbers aus Sil-
ber-Zinn-Amalgam-Füllungen mittels Hg^{203}

Dtsch. Stomat. 20, 343 (1970)

BATTISTONE, G.C., SAMMONS, D.W., MILLER, R.A.

Mercury excretion in military personnel

Oral Surg. 35, 47 (1973)

BERLIN, M.H., CLARKSON, T.W., FRIBERG, L.T., GAGE, J.C.,
GOLDWATER, L.J., JERNELOV, A., KAZANTZIS, G., MAGOS, L.,
NORDBERG, G.F., RADFORD, E.P., RAMEL, C., SKERFVING, S.,

SMITH, R.G., SUZUKI, T., SWENSSON, A., TEJNING, R.,
TRUIHAUT, R., VOSTAL, J.

Maximum allowable concentrations of mercury compounds
Arch. Environ. Health 19, 891 (1969)

BIDSTRUP, P.L., BONNEL, J.A.L., HARVEY, D.G., LOCKET, S.
Chronic mercury poisoning in men repairing direct-
-current meters

Lancet 261, 856 (1951)

BÖNIG-KEIBEL, I.

Die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 864 (1961)

BORINSKI, P.

Die Herkunft des Quecksilbers in den Ausscheidungen

Zahnärztl. Rdsch. 40, 221 (1931)

BOYER, D.B., CHAN, K.C.

The effect of burnishing on the mercury emission
of amalgam

J. Dent. Res. 56, 1330 (1977)

BRDICKA, R.

Grundlage der physikalischen Chemie

Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1973)

BUCHWALD, H.

Exposure of dental workers to mercury

Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 33, 492 (1972)

BURGENER, A., BURGENER, P.

Erfahrungen über chronische Quecksilber-Vergiftungen

Schweiz. med. Wschr. 82, 204 (1952)

BUTT, E.M., SIMONSEN, D.G.

Mercury and lead storage in human tissues: with special
reference to thrombocytopenic purpura

Am. J. Clin. Path. 20, 716 (1950)

CASTAGNOLA, L., WIRZ, J.

Die Quecksilberverdampfung bei der Verarbeitung von
Silberamalgam

Schweiz. Monatsschr. Zahnheilkd. 83, 922 (1973)

Chan, K.C., SVARE, C.W.

Mercury vapor emission from dental amalgam

J. Dent. Res. 51, 555 (1972)

CHRISTEN, H.R.

Grundlagen der allgemeinen und organischen Chemie

Verlag Sauerländer-Diesterweg-Salle, Frankfurt-

-Berlin-München (1977)

CROSS, J.D., DALE, I.M., GOOLVARD, L., LENIHAN, J.M.A.,
SMITH, H.

Methyl mercury in blood of dentists

Lancet 2, 312 (1978)

EAMES, W.B., GASPAR, J.D., MOHLER, H.C.

The mercury enigma in dentistry

J. Am. Dent. Assoc. 92, 1199 (1976)

ENGELMANN, M.A.

Mercury allergy resulting from amalgam restorations

J. Am. Dent. Assoc. 66, 122 (1963)

FINK, E.

Quecksilber-Dampfdruckmessungen an Dentalamalgamen
durch Absorption der Resonanzlinie 2537 Å

Med. Diss. Tübingen (1959)

FISCHER, C.-H.

Die Amalgamfüllung in Klinik und Experiment

Dtsch. zahnärztl. Z. 16, 1537 (1961)

FREDEN, H., HELLDEN, L., MILLEDING, P.

Mercury content in gingival tissues adjacent to
amalgam fillings

Odont. Revy 25, 207 (1974)

FRYKHOLM, K.O.

Mercury from dental amalgam

Acta Odont. Scand. 15, suppl. 22 (1957)

FRYKHOLM, K.O., ODEBLAD, E.

Studies on penetration of mercury through dental
hard tissues, using Hg^{203} in silver amalgam fillings

Acta. Odont. Scand. 13, 157 (1955)

GASSER, F.

Sensibilisierungen durch Amalgamfüllungen möglich

Zahnärztl. Praxis 23, 211 (1972 a)

GASSER, F.

Amalgam in Klinik und Forschung

Schweiz. Monatsschr. Zahnheilkd. 82, 62 (1972 b)

GASSER, F.

Neue Untersuchungsergebnisse über Amalgam

Quintessenz 27, 47 (1976)

GAY, D.D., COX, R.D., REINHARDT, J.W.

Chewing releases mercury from fillings

Lancet 1, 973 (1979)

GOLDWATER, L.J.

Occupational exposure to mercury

J. Roy. Inst. Public Health 27, 279 (1964)

GUTENMANN, W.H., SILVIN, J.J., LISK, D.J.

Elevated concentrations of mercury in dentists' hair

Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2, 318 (1973)

HEFFEREN, J.J.

Mercury surveys of the dental office: equipment, methodology and philosophy

J. Am. Dent. Assoc. 89, 902 (1974)

HOOVER, A.W., GOLDWATER, L.J.

Absorption and excretion of mercury in man

X. Dental amalgams as a source of urinary mercury

Arch. Environ. Health 12, 506 (1966)

HUBER, C.D.

Darstellung der durch Stock ausgelösten Diskussion um das Problem der Schädlichkeit von Amalgamfüllungen an Hand der Literatur

Med. Diss. München (1957)

IMURA, N., PAN, S.-K., SHIMIZU, M., UKITA, T.,

TONOMURA, K.

Formation and accumulation of methylmercury in organisms

Ecotoxicol. and Environ. safety 1, 255 (1977)

JACOBS, M.B., LADD, A.C., GOLDWATER, L.J.

Absorption and excretion of mercury in man

VI. Significance of mercury in urine

Arch. Environ. Health 2, 454 (1964)

JOST, W., TROE, J.

Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie
Steinkopf Darmstadt (1973)

KEIBEL, I.

Die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen
Neue Untersuchungsmethoden mit Hg^{203}
Med. Diss. Göttingen (1959)

KELMAN, G.R.

Urinary mercury excretion in dental personnel
Brit. J. Ind. Med. 35, 262 (1978)

KÖLSCH, F.

Lehrbuch der Arbeitsmedizin
Enke-Verlag Stuttgart (1963)

KÖNIG, K.G.

Stellungnahme zur Arbeit "Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen und Munddysbakterie als Ursache parodontaler Abbauerscheinungen" von T.Till (ZWR 87, Heft 22, S. 1076 - 1083, 1978)
Zahnärztl. Welt
Zahnärztl. Rdschau
Zahnärztl. Reform (ZWR) 88, 266 (1979)

KOJIMA, K., FUJITA, M.

Summary of recent studies in Japan on methyl mercury poisoning
Toxicology 1, 43 (1973)

KRÖNCKE, A., OTT, K., PETSCHLT, A., SCHALLER, K.-H.,
SZECSI, M., VALENTIN, H.

Über die Quecksilberkonzentrationen in Blut und Urin
von Personen mit und ohne Amalgamfüllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 35, 803 (1980)

KÜHL, W.

Quecksilberabgabe und Randdichtigkeit von Amalgam-
zahnfüllungen

Med. Habil. Würzburg (1963)

KÜHL, W.

Können Quecksilbervergiftungen durch Amalgamzahn-
füllungen bedingt sein?

Fortschr. Med. 84, 159 (1966 a)

KÜHL, W.

Die Quecksilberabgabe von Amalgamfüllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 496 (1966 b)

LADD, A.C., GOLDWATER, L.J., JYCOBS, M.B.

Absorption and excretion of mercury in man

II. Urinary mercury in relation to duration of exposure

Arch. Environ. Health 6, 480 (1963)

LANE, R.E.

Laboratory investigations in suspected industrial
poisoning

Brit. M. J. 1, 978 (1954)

LEISCHNER, A.

Zur Symptomatologie gewerblicher Quecksilbervergiftungen
Med. Welt 14, 716 (1940)

LENIHAN, J.M., SMITH, H., HARVEY, W.

Mercury hazards in dental practice
Assessments and control by activation analysis
Brit. Dent. J. 135, 365 (1973)

MARXKORS, R.

Korrosionserscheinungen an Amalgamfüllungen und deren
Auswirkungen auf den menschlichen Organismus

Dtsch. Zahnärzteblatt Teil 1 24, 53 (1970 a)
Teil 2 24, 117 (1970 b)
Teil 3 24, 170 (1970 c)

MASSLER, M., BARBER, T.K.

Action of amalgam on dentine
J. Am. Dent. Assoc. 47, 415 (1953)

MAYER, R.

Quecksilberdampfdruckmessungen beim Ausbohren von Amal-
gamfüllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 191 (1968)

MAYER, R.

Arbeitshygienische Untersuchungen bei der Verarbeitung
von Silber-Zinn-Quecksilberlegierungen in der Mundhöhle

Dtsch. zahnärztl. Z. 30, 246 (1975)

MAYER, R.

Abgabe von Quecksilber aus Amalgamfüllungen in den
Speichel

Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 855 (1976)

McGINNIS, J.P., MINCER, H.H., HEMBREE, J.H.

Mercury vapor exposure in a dental school environment

J. Am. Dent. Assoc. 88, 785 (1974)

MOCKE, W.

Untersuchungen durch Neutronenaktivierung über den
diffundierten Elementgehalt von Zähnen mit Amalgam-
füllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 657 (1971)

MOESCHLIN, S.

Klinik und Therapie der Vergiftungen

Thieme Stuttgart (1972)

NADAL, R., PHILLIPS, R.W., SWARTZ, M.L.

Clinical investigation on the relation of mercury to
the amalgam restoration

J. Am. Dent. Assoc. Teil 1 63, 8 (1961 a)

Teil 2 63, 488 (1961 b)

NAUJOKS, R., RANKE, B., RUST, H.

Zur Frage der Penetration des Dentins und der Beein-
flussung der Glycolyse im Speichel durch Quecksilber

aus Silberamalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 459 (1963)

NOE, F.E.
Mercury as a potential hazard in medical laboratories
N. Engl. J. Med. 261, 1002 (1959)

NOE, F.E.
Chronic mercurial intoxication
Industr. Med. Surg. 29, 559 (1960)

OVERDIECK, H.F.
Können sich Amalgamfüllungen gesundheitsschädlich
auswirken?
Zahnärztl. Rdsch. 71, 99 (1962)

PAGNOTTO, L.D., COMPRONI, E.M.
The silent hazard: an unusual case of mercury con-
tamination of a dental suite
J. Am. Dent. Assoc. 92, 1195 (1976)

PHILLIPS, R.W.
Die Bedeutung elektrischer Ströme in der Mundhöhle
Dtsch. zahnärztl. Z. 12, 1222 (1957)

RADICS, J.
Strukturuntersuchungen, Potentialmessungen und Queck-
silberabgabe aus Amalgamfüllungen
Med. Diss. Freiburg i.Br. (1966)

REBEL, H.-H.

Ist die Verwendung des Amalgams als Füllungswerkstoff
noch berechtigt?

Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 1588 (1955)

REYNOLDS, C.L.

Determination of mercury vapor pressure over amalgams
from weight loss data

J. Biomed. Mater. Res. 8, 369 (1974)

ROBINSON, H.M., BERESTON, E.S.

Contact dermatitis due to mercury of amalgam dental
fillings

Arch. Dermat. and Syph. 59, 116 (1949)

ROWLAND, I.R., GRASSO, P., DAVIES, M.J.

The methylation of mercuric chloride by human intestinal
bacteria

Seperatum Experientia 31, 1064 (1975)

RUST, H.

Über die Abgabe von Quecksilber aus Amalgamfüllungen
(Histotopochemische, autoradiographische und radio-
metrische Untersuchungen)

Med. Diss. Hamburg (1962)

SAUERWEIN, E.

Zahnerhaltungskunde

Thieme Stuttgart (1976)

SCHIELE, R., SCHALLER, K.-H.

Die Aktivität der Plasma- β -Galactosidase in Relation
zum Quecksilbergehalt von Blut und Urin bei beruflicher
Quecksilbereinwirkung

Arbeitsmedizinisches Kolloquium des Hauptverbandes der
gewerblichen Berufsgenossenschaften

Sonderdruck aus dem Jahresbericht 1977

Gentner-Verlag Stuttgart (1977)

SMITH, R.G., VORWALD, A.J., PATILL, L.S., MOONEY, T.E.
Effects of exposure to mercury in the manufacture of
chlorine

Am. Ind. Hyg. Assoc. 31, 687 (1970)

SOUDER, W., SWEENEY, W.T.

Is mercury poisonous in dental amalgam restorations?

Dent. Cosmos 73, 1145 (1931)

SPRENG, M.

Allergie und Zahnmedizin

Barth-Verlag Leipzig (1963 a)

SPRENG, M.

Über Probleme von Nebenwirkungen durch Amalgam-
-Zahnfüllungen

Med. Welt 36, 1797 (1963 b)

SVARE, C.W., CHAN, K.C., LOWERY, B.C.

Relationship between dental amalgam mercury content

and emission

J. Dent. Res. 51, 202 (1972)

SVARE, C.W., FRANK, C.W., CHAN, K.C.

Quantitative measure of mercury vapor emission from
setting dental amalgam

J. Dent. Res. 52, 740 (1973)

SCHACH, H.

Toxikologische Probleme zur Amalgamfrage

Zahnärztl. Praxis 16, 237 (1965)

SCHNEIDER, V.

Untersuchungen über die Quecksilberabgabe aus Silber-
amalgam-Füllungen mit Hilfe der flammenlosen Atom-
absorption

Med. Diss. Frankfurt a.M. (1976)

SCHWARZE, H.A.

Über das Verhalten von Amalgamfüllungen im Munde

Untersuchungen über das Eindringen von Metallteilchen
in die Zahnhartsubstanz mit Hilfe der Spektralanalyse

Med. Diss. München (1951)

STEVENS, J.T., BOX, J.M., PELLEU, G.B.

Mercury vapor levels in dental spaces

Milit. Med. 140, 114 (1975)

SREWART, F.H., STRADLING, G.N.

Monitoring techniques for mercury and mercury vapor in dental spaces

Brit. Dent. J. 131, 299 (1971)

STRASSBURG, M., ÖZKAN, T.

Experimentelle Untersuchungen über die Gewichts- und Oberflächenveränderungen von 70% igem zinkfreiem Silber-amalgam nach Erwärmung auf normale und extrem hohe Mundhöhlentemperaturen

Dtsch. zahnärztl. Z. 20, 1165 (1965)

STRASSBURG, M., SCHÜBEL, F.

Generalisierte allergische Reaktion durch Silber-amalgamfüllungen

Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 3 (1967)

TALOR, A., MARKS, V.

Measurements of urinary mercury excretion by atomic absorption in health and disease

Brit. J. Ind. Med. 30, 293 (1973)

TEIXEIRA, L.C., KAMMERMEYER, K., JOHNSON, W.W.

Printing of mercury distribution on the surface of dental amalgams

J. Am. Dent. Assoc. 81, 1159 (1970)

THOMSON, J., RUSSEL, J.A.

Dermatitis due to mercury following amalgam dental

restoration

Brit. J. Derm. 82, 292 (1970)

TILL, T.

Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen und Munddysbakterie als Ursache parodontaler Abbauerscheinungen
Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 87, 1076 (1978)

TILL, T., ADAMIKER, D., JETTMAR, W., MALY, K.,
RADASKIEWICZ, T., RENDL, J.

Untersuchungen zur örtlichen Schadwirkung von Quecksilber aus Silberamalgam und einer eventuellen diesbezüglichen Beeinflussung durch Mundmischflorainfiltration an Ratten

Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 87, 1130 (1978)

TILL, T., MALY, K.

Quecksilber in Zahnwurzeln und Kieferknochen

Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 87, 288 (1978)

TILL, T., WAGNER, G.

Über elektrochemische Untersuchungen an verschiedenen

metallischen Zahnreperaturmaterialien

Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 80, 334 (1971)

TILL, T., WAGNER, G.

Untersuchungen zur Löslichkeit der Bestandteile von
Amalgamfüllungen während des Kau- und Trinkaktes

I. Teil

Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 82, 945 (1973)

WAGNER, E.

Beitrag zur Klärung des Korrosionsverhaltens der
Silber-Zinn-Amalgame

Dtsch. zahnärztl. Z. 17, 99 (1962)

WAGNER, G., TILL, T.

Untersuchungen zur Löslichkeit der Bestandteile von
Amalgamfüllungen während des Kau- und Trinkaktes

II. Teil

Zahnärztl. Welt

Zahnärztl. Rdschau

Zahnärztl. Reform (ZWR) 82, 1004 (1973)

WALLACH, L.

Aspiration of elemental mercury - evidence of ab-
sorption without toxicity

N. Engl. J. Med. 287, 173 (1972)

WANNENMACHER, E.

Untersuchungen über verschiedene Eigenschaften der Silber-Zinn-Amalgame

Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 397 (1929)

WEST, I., LIM, J.

Mercury poisoning among workers in California's mercury mills

J. Occup. Med. 10, 697 (1968)

WIRTH, W., HECHT, G., GLOXHUBER, C.

Toxikologie-Fibel

Thieme Stuttgart (1971)

YOUNG, A.G., TAYLOR, F.H.L., MERRIT, H.H.

Distribution and excretion of mercury

Arch. Dermat. and Syph. 21, 539 (1930)

Frau Prof. Dr. Dr. M. Geldmacher-v.Mallinckrodt danke ich für die Überlassung des Themas, ihre große Hilfsbereitschaft und den zu jeder Zeit erteilten Rat.

Herrn Prof. Dr. H.-B. Wuermeling, Vorstand des Institutes für Rechtsmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Lebenslauf

- 1956 wurde ich am 29.Juni in Nürnberg als drittes von vier Kindern der Apothekerin Christa Trinczek, geborene Wagner und des Lebensmittelchemikers Dr.Bruno Trinczek geboren.
- 1962 - 1966 besuchte ich die Volksschule in Nürnberg
- 1966 - 1975 war ich Schüler des Melanchthon-Gymnasiums in Nürnberg. Im Sommer 1975 legte ich die Reifeprüfung ab.
- 1976 - 1982 Studium der Humanmedizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Im Oktober 1982 legte ich das Staatsexamen ab und erhielt die Approbation als Arzt.

